

## 거창화강석 품질기준 설정을 위한 광물조성 분석

### Analyses of Mineral Composition of Geochang Granitic Rocks for Stone Specification

최진범(Jin Beom Choi)\* · 좌옹주(Yong Joo Jwa) · 김건기(Keon-Ki Kim)  
· 황길찬(Gil Chan Hwang)

경상대학교 지구환경과학과 및 기초과학연구소

(Department of Earth and Environmental Sciences and Research Institute of Natural Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

**요약** : 거창화강석의 품질기준 설정을 위한 정확한 광물조성을 구하기 위하여 거창지역 석산을 포함하여 포천, 익산 및 중국에서 수입된 총 39개의 화강석 시료를 대상으로 현미경 육안관찰에 의한 광물 모드 분석, X-선 형광분석에 의한 CIPW 노름 계산, 그리고 X-선 회절 데이터를 이용하여 리트벨트법에 의한 광물정량분석을 각각 실시하였다. 거창화강석은 회백색 내지 암색으로 중립질의 반상조직을 가지며, 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석 및 흑운모가 우세하다. 광물조성을 결정하기 위해 3가지 분석방법을 비교한 결과, 노름 계산은 화강암의 광물조성을 제대로 반영한다고 보기 어려우며, 현미경 육안관찰에 의한 모드 분석보다 X-선 회절 데이터를 이용한 리트벨트 정량법이 상대적으로 정확한 광물조성을 보여주는 것으로 판단된다. Q-A-P 삼각도에 작도한 결과, 거창화강석은 전형적인 화강섬록암의 광물조성을 보여주며, 포천화강석은 몬조화강암, 익산석은 몬조화강암 내지 화강섬록암, 그리고 중국거창석은 화강섬록암의 조성을 각각 보여준다. 특히 중국거창석과 비교하여 거창화강석이 광물조성으로는 전혀 구별이 되지 않는 유사한 조성을 보여준다.

**주요어** : 화강석, X-선 형광분석, CIPW 노름, X-선 회절, 리트벨트 광물정량법, 몬조화강암, 화강섬록암

**ABSTRACT** : Mineral compositions of granitic rocks from Geochang, Pocheon, Iksan, and China were obtained by the modal analysis, CIPW norm calculations, and Rietveld quantitative analysis for stone specification of the Geochang granitic rocks. The Geochang granitic rocks show grey to dark in color and medium grained porphyritic texture. They mainly consist of quartz, plagioclase, alkali feldspar, and biotite. Among three different method for determining the mineral compositions of granitic rocks, normative compositions using X-ray fluorescence data are not appropriate for representing real mineral composition. Rietveld quantitative analysis using X-ray powder diffraction data is proved better method to determine exact mineral compositions than modal analysis using microscopic observation. Q-A-P diagram shows that the Geochang granitic rocks are typical granodiorite, whereas the granitic rocks of Pocheon, Iksan, and China are monzogranite, monzogranite to granodiorite, and granodiorite, respectively. Compared to China ones, the Geochang granitic rocks are nearly close to each other in mineral composition.

\*교신저자: jbchoi@gnu.ac.kr

**Key words :** Granitic rock, X-ray fluorescence analysis, CIPW norm, X-ray diffraction, Rietveld quantitative analysis, monzogranite, granodiorite

## 서 론

거창은 포천, 익산과 더불어 국내 3대 화강석 채석산지의 하나로 국내 석재산업을 선도하는 중심지 역할을 하고 있다. 거창화강석은 40여년의 역사를 가진 거창의 최대 산업으로 연간 매출 규모가 천5백억 원 정도로 군 총 생산의 약 25%를 차지하고 있으며, 거창군의 주요 산업 기반이 되고 있다. 거창에는 16개의 석산에서 매년 305만 톤의 석재를 채취하고 있으며, 국내 화강석 생산의 약 20%를 차지한다. 한편, 39개의 가공업체에서 매년 13만 톤의 석재를 가공하고 있으며, 채석 및 가공에 종사하는 인원은 총 2천여 명에 이른다.

거창화강석은 거창 부근에 주로 분포하는 조립질 내지 중립질의 화강암질 암석으로 미약한 엽리조직을 나타내기도 한다. 거창군 일대의 지질은 선캄브리아기의 기반암과 중생대 쥐라기와 백악기의 화강암류, 백악기의 화산암류 및 퇴적암류 그리고 시대미상의 관입암류로 이루어져 있다(그림 1). 거창군에 폭넓게 분포하는 화강암류는 그 관입연대가 쥐라기와 백악기로 나뉘는데, 쥐라기 화강암류로는 거창군에서 가장 넓은 분포면적을 보이는 흑운모 화강암을 비롯하여, 각섬석 화강암, 반상 화강암, 우백질 화강암, 반화강암, 백운모 화강암 등이다(김남장과 김정환, 1970; 이상만 외, 1981; 김용준 외, 1989; Chough *et al.*, 2000; 박계현 외, 2006). 거창군에서 개발된 석산들은 쥐라기 화강암류 중에서 흑운모 화강암의 분포 지역 내에 위치하며, 그 분포적 특징이 북동-남서방향을 나타낸다. 거창군 북서쪽으로 갈수록 암석의 변형이 두드러지게 나타나는데, 이는 쥐라기의 호남전단운동의 결과로 해석된다(Yannai *et al.*, 1985; 김용준 외, 1991; 김용준 외, 1994; 권성택과 이진한, 1997). 이 전단운동은 흑운모 화강암에도 영향을 미쳤으며, 일부 화강암에서 미약한 엽리를 보이는 것도 이 때문이다.

거창화강석은 암석 매장량이 풍부하고, 품질에 다른 화강석에 비해 뒤떨어지지 않음에도 불구하고 석산에서의 생산성이 높지 않고 거창화강석 자체의 브랜드 이미지가 낮아 시장에서

기피되는 이유가 되고 있다. 또한 중국 등지로 부터 값싼 화강석이 다량 수입되어 국내 석재 시장을 크게 위협하고 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다. 따라서 거창화강석이 시장에서 제대로 인정받기 위해서는 거창화강석의 품질을 판정할 수 있는 정량적인 자료가 필요하며, 브랜드로서 이미지를 향상시키고, 나아가 다른 국내석이나 수입 석재들과 비교·검토하여 차별화하기 위해서 거창화강석의 품질기준 확립이 절실히 요구된다(좌용주 외, 2006).

이번 연구는 석재의 품질 기준 중에서 가장 기본이 되는 거창화강석의 광물조성을 정확히 규명하는 것이다. 따라서 거창 지역 11곳의 석산에서 나오는 화강석과 이를 비교하기 위해 포천의 8개 석산 및 익산의 3개 석산의 화강석, 그리고 거창석으로 둔갑하여 판매되는 중국 수입산 화강석(일명 중국거창석)을 대상으로 광물 모드분석, CIPW 노름(Norm) 계산, 및 X-선 회절 데이터를 이용한 리트벨트 광물정량분석을 각각 실시하여 상호 비교를 하고, 거창화강석의 광물조성에 대한 특징을 제시하고자 한다.

암석을 구성하는 광물들의 정량적인 분석 방법에는 3가지 방식이 있다. 기존의 현미경하에서 구성광물을 구분하여 면적계산을 통해 이루어지는 모드분석(김용준 외, 1989; Lee *et al.*, 1992; 사공희와 좌용주, 1997), 전체 암석에 대한 화학분석을 실시하여 분석치로부터 구성광물비를 CIPW 방식으로 계산해내는 노름 분석(박천영 외, 1998), 마지막으로 암석을 분쇄한 분말에 대해 X-선 회절분석을 실시하여 각 광물의 회절선을 분리하여 계산하는 방법이 있다. 다만 이 세 가지 분석이 서로 약간씩 장단점이 있어 꼭 어느 분석법이 더 낫다는 판단은 어렵다. 따라서 암석의 정량분석의 경우, 3가지 분석법을 모두 실시할 경우, 보다 객관적인 비교 자료를 얻을 수 있다. 특히 화성암처럼 광물들의 입자가 비교적 크고 깨끗하며 구분이 용이한 경우, 모드 분석이나 노름 분석을 통해 정확한 정량분석이 가능하지만, 이번 거창화강석에 대한 품질기준을 정하는 경우처럼 유사한 화강석으로부터 거창화강석을 차별화하고 암석 기준에 대해 보다 엄격하고 구체적인 분석 자료

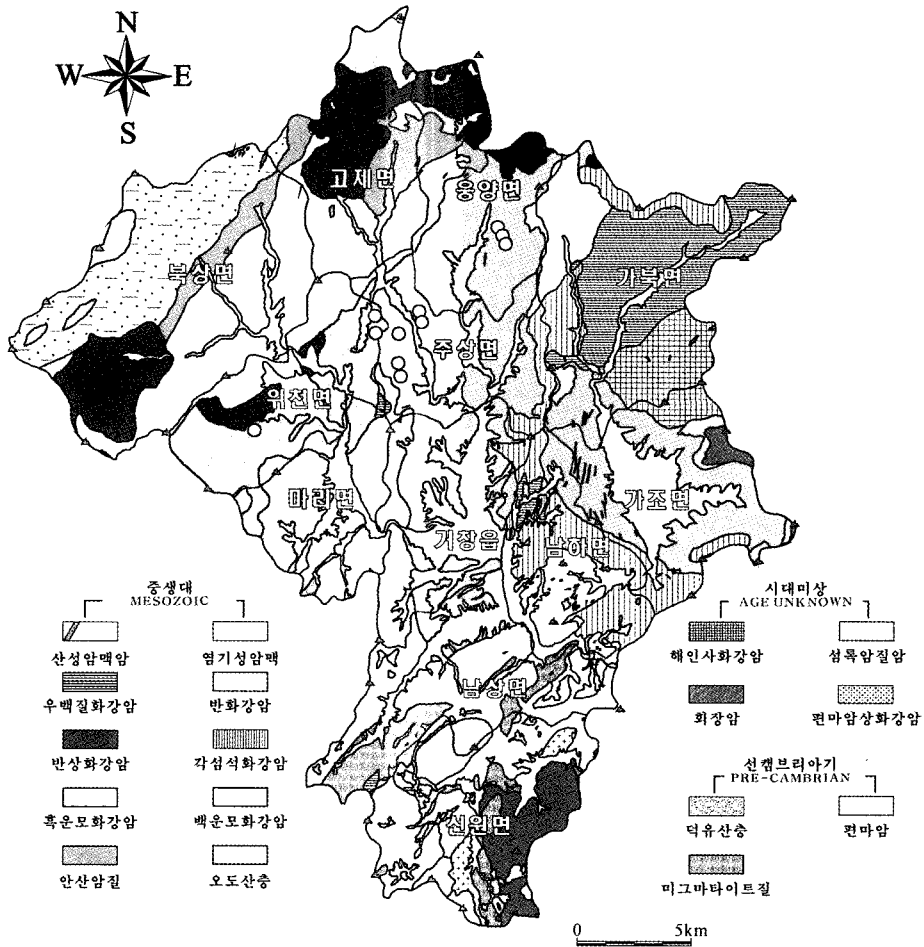


Fig. 1. Geology of Geochang area. Yellow circles indicate locations of granitic stone mines.

를 필요로 하는 경우, 반드시 3가지 분석법이 모두 제공되어야 한다. 보통 전문적인 학술연구에서조차 3가지 분석법 중 모드 분석이나 노름 분석법 중 하나 또는 2가지만 제시하는 경우가 대부분인데 반해, 이번 품질기준 설정 연구에서는 국내에서 최초로 3가지 방식의 광물분석법을 모두 제시함으로써, 거창 화강석에 대한 독립적인 분석자료 뿐만 아니라 국내 타지방 화강석이나 중국산 화강석과도 쉽게 구분할 수 있는 비교 자료를 제시할 수 있게 되었다.

X-선 회절 데이터를 이용한 광물정량분석은 일찍부터 시도되었으며, 최근 산업기술 분야에서는 널리 이용되는 방법이다(Snyder and Bish, 1989). 시멘트 회사의 원료 및 품질관리나 석유 시추시 시추수의 분석 등 X-선 회절 정량분석

으로 결정된다. 특히 현미경 하에서 광물 구분이 어려운 퇴적암이나 미세한 입자들로 이루어진 경우, 그리고 변질이 심한 암석의 경우 광물 조성을 알 수 있는 유일한 방법은 X-선 회절 분석법이다. 분말 X-선 회절 데이터를 이용한 정량분석은 종래에는 시료 내부에 분석치를 아는 표준물질을 첨가하여 회절선을 비교하는 방식으로 이루어졌다(Davis and Walawender, 1982). 최근에 내부 표준시료 없이 분석하고자 하는 시료만의 전 회절선을 이용하는 리트벨트(Rietveld) 정량분석법이 개발되어 비교적 에러가 적은 객관화된 자료를 얻을 수 있게 되었다(Hill and Howard, 1987; Bish and Howard, 1988; Bish and Post, 1988; Weidler *et al.*, 1998; Monecke *et al.*, 2001). 리트벨트법은 원래 회절

데이터를 이용한 결정구조를 분석하기 위한 방법이지만, 회절선 면적을 이용하는 원리기에 정량분석에도 뛰어난 결과를 보여준다.

리트벨트법은 스텝-스캔(step-scan) 방식으로 얻어진 분말 X 선 회절 데이터를 이용하여 종래 단결정법에서만 이루어지던 결정구조 해석에 사용되고 있는데, 원래 단일파장의 중성자 회절 데이터에 있어서 일부 회절선들의 중첩 현상을 해결하기 위하여 리트벨트가 제안하였다(Rietveld, 1969). 리트벨트법은 분말 X 선 회절 데이터의 전 구간에 걸친 회절선의 면적으로부터 결정학적인 정보(공간군, 단위포, 원자 좌표, 온도인자 등)를 이용하여 결정구조 정밀화를 수행하는데, 분말데이터를 사용하기 때문에 2종류 이상의 광물 복합상에 대한 회절선의 분리가 가능하여 복합상에 대한 구조 해석이 동시에 이루어진다(문용희 외, 2000, 2001; 최진범과 김태현, 2001). 이 과정에서 복합상들의 상대적인 함량비가 함께 계산되기 때문에 광물정량이 가능하다.

## 연구 방법

### 분석 대상

거창군에는 16개의 석산이 있으나 2006년 현재 가행 중인 석산은 10곳 정도에 불과하다. 이번 연구는 품질에 대한 정확한 기준을 마련하기 위한 광물조성 분석이므로 신선한 암반에서 바로 채석된 시료가 필요하기 때문에, 현재 채석이 진행 중인 석산을 대상으로 하였다. 대상 석산은 건덕석재, 경일석재, 동경산업, 모동기업, 배왕무역, 삼덕개발, 세기산업, 쌍신건설산업, 아림석지, 주상기업, 한국대리석 등 11곳이다(그림 1 참조). 경일석재를 제외한 10곳은 현재 가행 중인데, 경일석재는 비록 채석은 중지되었지만, 신선한 시료를 구할 수 있어 분석 대상에 포함시켰다. 시료의 채취는 각 석산을 방문하여 현장에서 진행되었으며, 바로 채취한 신선한 블록에서 30 × 30 × 30 cm 크기와 그 절반 크기의 석재를 한 쌍으로 하여 2 종류의 석재 시료를 얻었다.

거창화강석과 비교하기 위해 국내석으로 포천화강석과 익산화강석을 대상으로 하였다. 포천화강석 시료를 채취하기 위해 포천지역 석산

들을 직접 방문하였으며, 현재 가행 중인 석산과 비록 가행이 중단되었지만 신선한 석재의 채취가 가능한 석산을 대상으로 하였다. 대상 석산은 삼우, 동아, 유창, 동인, 영진, 금풍, 가락, 및 경서 등 모두 8곳이며, 거창과 마찬가지로 각 석산을 대표하는 암상의 화강석을 30 × 30 × 30 cm의 크기와 그 절반 크기의 석재를 한 쌍으로 시료를 채취하였다. 익산화강석도 익산을 직접 방문하여 채취가 이루어졌으며, 대상 석산은 내산, 황등, 및 덕영 3곳이며, 이전 다른 두 지역과 같은 방식으로 시료를 채취하였다. 단, 덕영의 경우 암상이 매우 다른 두 종류의 화강석을 채석하고 있기 때문에 두 종류의 시료를 채취하였다.

한편, 중국에서 수입되는 소위 거창석은 거창군에서 생산되는 거창화강석의 시장을 크게 잠식하고 있기 때문에 그 비교가 불가피한 실정이다. 중국산 거창석은 우리나라의 여러 하차장에서 팔려 나가고 있지만, 중국 내에서 생산지가 각각이며, 원산지가 불분명하여 전체적인 비교는 어렵다. 이번에 연구 대상으로 선정된 중국산 거창석은 경상북도 칠곡 하차장으로 수입된 석재로써 경계석, 계단석 및 판재용으로 유통되는 5개를 수집하여 분석을 실시하였다.

따라서 거창지역에서 산출되는 11개 석산별로 2개씩 22개 시료, 포천지역의 각 석산에 대해 8개, 익산지역의 각 석산에 대해 4개를 포함하여 34개 시료와 중국 수입석 시료 5개 등 총 39개의 석재 시료에 대해 분석을 실시하였다.

### 육안 및 편광현미경 관찰

석재표면 관찰은 육안 관찰과 휴대용 현미경을 이용한 관찰이 동시에 이루어졌으며, 구성광물의 종류와 풍화 양상을 정성적으로 파악하였다. 각 석재에 대해 박편 및 연마편을 제작하여 현미경 관찰을 실시하였으며, 광물 모드 측정을 통해 구성광물의 정량값을 계산하였다.

### X-선 형광분석

노름 광물조성을 구하기 위해 화강석에 대해 전암분석을 실시하였다. 주원소 측정을 위하여 암석을 파쇄 하여 분말시료를 만들고 이를 글래스 비드로 제작하여 분석하였으며, 사용한 기

기는 호주의 맥쿼리대학이 보유한 에너지 분산형 X-선 형광분석기 Spectro XLAB2000 모델(300W 팔라듐 X-선 튜브)이다.

### 분말 X-선 회절분석

시료 준비는 각 암석에 대해 최대한 평균조성을 구하기 위해 암석 시료 당 약 1 Kg 정도를 파쇄하고, 그 중에서 다시 100 g을 분리하여 미세 분쇄하였으며, 최종 X-선 회절 분석용으로 10 g을 아게이트 용기에 넣어 0.5 μm 정도의 분말로 분쇄하였다. 이때 철광물의 산화를 방지하기 위해 아세톤을 첨가하여 분쇄함으로써 시료 준비과정에서 정량분석에 미칠 효과를 최소화 하였다. 회절분석은 경상대학교 지구환경과학과가 보유한 고분해능 X-선 회절분석기(High-resolution X-ray Diffractometer) SIEMENS/Bruker D5005 기종을 이용하여 이루어졌다.

X-선 회절용 시료 준비는 통상 리트벨트 구조분석용 실험과 마찬가지로 방식으로 이루어졌다(최진범과 Grover, 2006). 직경 1 cm의 홀을 가진 플라스틱 원반형 홀더에 폴리에틸렌(polyethylene) 필름을 부착하고 분말 시료를 홀 내부에 스프레이로 점착하였다. 편향성(preferred orientation) 효과를 최소화하기 위해 헤어스프레이를 사용하여 시료를 코팅하고 홀더를 분당 30회의 속도로 회전시키면서 실시하였다. 특히 회절선의 면적을 이용하여 정량분석이 이루어지기 때문에 편향성 효과를 최대한 줄이는 것이 정량분석의 오차를 최대한 줄일 수 있다. 실험은 40 kV/35 mA의 조건 하에서 흑연 단결정을 사용하여 단색화된 파장(CuKα = 1.5406 Å)을 사용하여 스텝-스캔 방식으로 회절값을 기록하였다. 5~90° 2θ 구간에서 주사 간격 0.02°, 주사 시간 5초로 설정하였으며, 각 시료별로 총 4,251개의 데이터가 수록되었다.

### 리트벨트 정량분석

리트벨트법을 이용한 광물정량분석은 모든 회절선으로부터 계산이 이루어지기 때문에 과거 내부 표준시료를 사용하는 방법이나 특정 회절선만을 가지고 계산하던 종래의 정량분석법에 비해 매우 정확한 정량분석 결과를 얻을 수 있다. 리트벨트법은 X-선 회절 데이터 실험

치( $Y_o$ )와 결정학적 정보로부터 계산된 이론치( $Y_c$ )를 비교하여 최소자승법으로 정밀화시키는 것이다. 즉,  $S_y = \sum_{i=0} w_i (Y_{oi} - Y_{ci})^2$  식으로 주어지며, 여기서  $Y_{oi}$ 와  $Y_{ci}$ 는 각각  $i$ 번째의 실험치와 이론치를 나타내며  $w_i = 1/Y_{oi}$ 이다. 한편, 이론치  $Y_{ci}$ 는 다음 식으로 주어진다(Young, 1993).

$$Y_{ci} = s \sum_K L_K |F_K|^2 \phi(2\theta_i - 2\theta_K) P_K A + Y_{bi}$$

이때,  $s$ 는 스케일요소(scale factor)이며,  $K$ 번째 회절선 각각에 대하여  $L_K$ 는 로렌즈 요소,  $\phi$ 는 회절선 함수,  $P_K$ 는 편향배열성(preferred orientation) 함수,  $A$ 는 흡수계수,  $F_K$ 는 구조계수,  $Y_{bi}$ 는 기저선 함수 등을 나타낸다. 리트벨트법에 사용된 회절선 함수는 pseudo-Voigt (pV) 함수를 사용하였으며 회절선의 최대반폭치(FWHM, full width at half maximum)  $H$ 는  $H^2 = U \tan^2 \theta + V \tan \theta + W$ 의 식으로 주어지며,  $U, V, W$ 의 세 값에 의해 결정된다. 여기서 리트벨트 구조 계산에 의해 결정구조가 정밀화되면서 결정되는  $s$ 값인 스케일요소는 정량분석에 사용된다. 즉, 광물의 상대적인 함량(wt%)은 다음 식으로 주어진다.

$$wt\% = \frac{sMV_{\text{mineral}}}{sMV_{\text{whole}}}$$

여기서  $s$ 는 스케일요소,  $M$ 과  $V$ 는 광물 단위포의 질량과 부피를 나타낸다.

정량분석에 사용된 소프트웨어는 SiroQuant V2.0이다. 이 소프트웨어는 리트벨트 분석법을 산업적 요구에 맞춰 정량분석 용도만을 위해 개발된 상업 프로그램이다. 따라서 구조분석 시 고려되는 고도의 이론적 배경과 복잡한 결정학적 지식이 없이도 사용이 가능하며, 계산과정도 구조분석에 요구되는 복잡한 과정은 단순화시켜 최적의 솔루션을 구하도록 하고 있다. 또한 실제 광물 자료들을 활용함으로써 정량분석시의 신뢰도를 높이고 있다.

분석방법은 리트벨트 계산에 필요한 변수들을 차례로 참여시키는 방법으로 진행되었다. 처음에는 스케일 요소만 참여하여 에러를 최소화하는 단계로 자동적으로 이루어지는 과정을 3회 반복한 후, 다음 단계에서 0점 인자, 비대칭

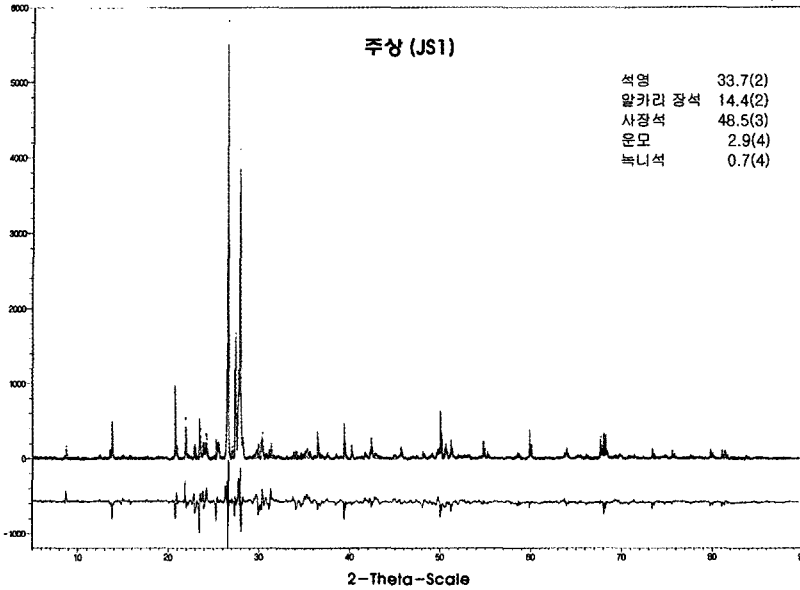


Fig. 2. Observed and calculated powder pattern and residuals for the granitic rock (JS1) of Geochang obtained by SiroQuant V2.0.

계수를 계산에 참여시키고, 계속해서 단계별로 구성광물의 단위포, 편향성 효과, 최대반폭치 등의 변수들을 순서적으로 계산에 참여시킨다. 동시에 반복 회수와 damping 인자를 변화시키면서 계산의 정밀화가 이루어진다.

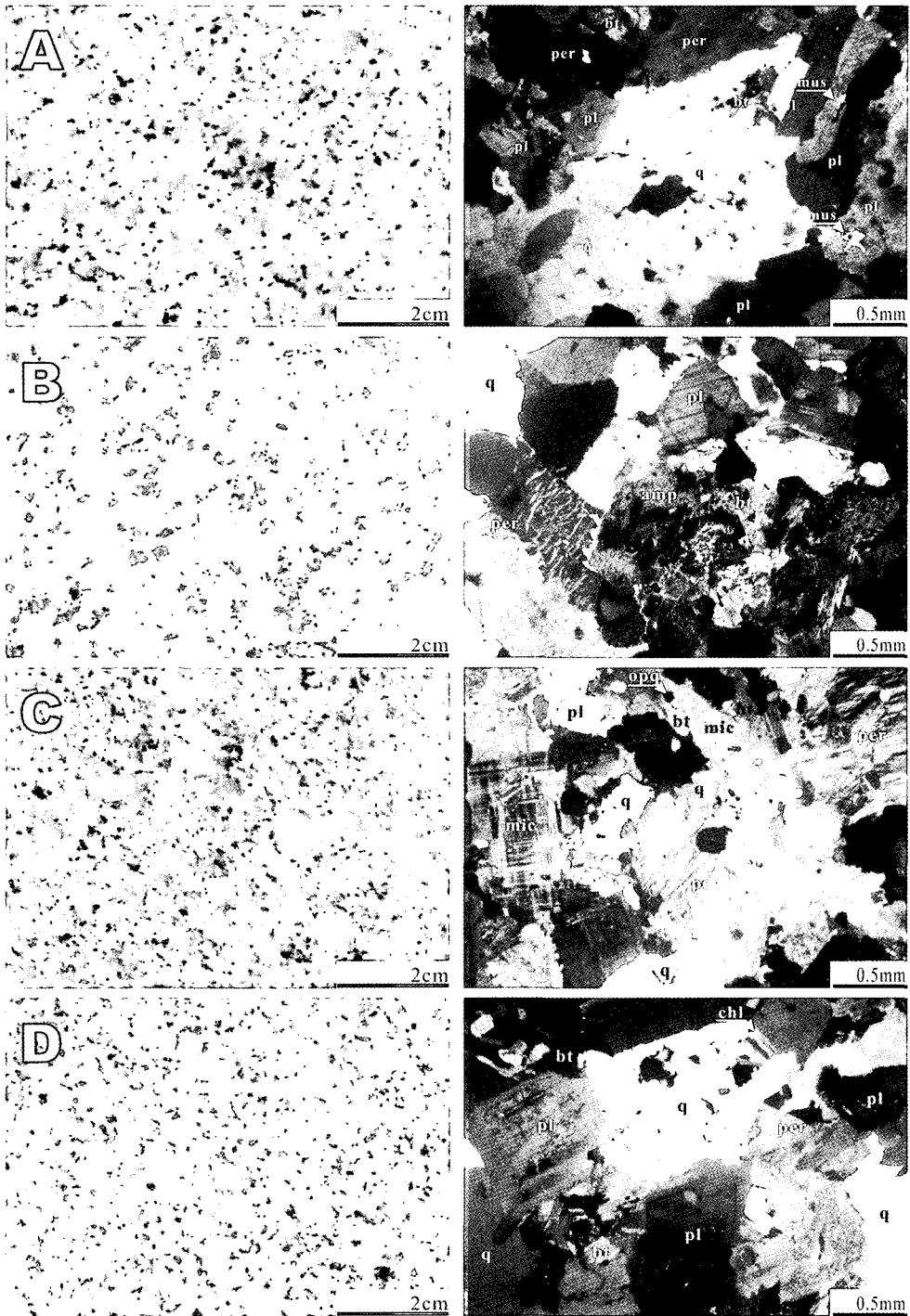
그림 2는 화강석 시료 중 하나인 거창의 주상 석산(JS1) 화강석에 대한 리트벨트 광물정량 분석에 대한 회절 패턴을 보여주고 있다. 그림 2에서 보듯이, 녹색선은 실제 주상 화강석의 X-선 회절패턴이며, 붉은색은 표준광물들의 구조자료로부터 합성한 이론 회절선이다. 그리고 푸른선은 두 회절선 간의 차이를 나타내는 것으로 분석의 정확성에 대한 판단의 근거가 된다. 전체적으로 두 회절선간의 위치가 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, 상대적으로 차이를 보이는 것은 회절선의 강도의 상대적 값에 의한 것으로 폭은 크지 않은 것을 알 수 있다. 주상(JS1)의 경우 계산의 정밀도를 나타내는 값  $\chi^2$ 는 6.45를 갖는데, 비교적 계산이 잘 된 것을 알 수 있다. 주상 화강석은 석영 33.7(2)%, 알칼리 장석 14.2(2)%, 사장석 48.5(3)%, 운모 2.9(4)%, 및 녹니석 0.7(4)%의 비율로 함유되어 있다.

## 결과 및 토론

### 육안 및 현미경 관찰과 모드 광물조성

거창화강석은 대부분 회백색 암색으로 중립질의 반상조직을 가지며, 반정은 석영, 알칼리장석, 그리고 사장석이 우세하다. 부분적으로 알칼리장석 반정이 5~15 mm 정도의 크기를 가지며, 지역(배왕무역)에 따라 거정의 알칼리장석 반정(15~30 mm)과 흑운모 반정이 나타난다. 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 그리고 흑운모가 우세하며, 소량의 백운모, 녹니석 및 불투명광물이 관찰된다. 석영은 반자형 내지 타형으로 직소광과 파동소광을 보이며, 사장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정과 칼스바드-알바이트 쌍정을 보인다. 그리고 사장석은 누대구조와 알바이트 쌍정이 함께 나타나며, 알칼리장석과 경계에서 미르메카이트(myrmekite) 조직이 나타난다. 알칼리장석은 퍼싸이트(perthite)와 미사장석으로 구분되며, 대부분의 반정들은 퍼싸이트로 이들 내에는 사장석 광물들이 포함된 포이킬리틱(poikilitic) 조직이 잘 나타난다(그림 3A).

포천화강석은 암상에 따라 다소 차이가 있으



**Fig. 3.** Hand specimens and polarized microscopic observations of granitic rocks from different stone mines. A: Geochang (MD1), B: Pocheon (P7), C: Iksan (H2), D: China Imported (CG5). (q: quartz, pl: plagioclase, mic: microcline, per: perthite, bt: biotite, mus: muscovite, chl: chlorite, amp: hornblende, opq: opaque mineral).

나, 핑크색을 띠는 알칼리장석으로 인해 약간 붉은 흑운모 화강암이 가장 특징적이며, 포천 석이라 불린다. 하지만 알칼리 장석을 제외하면 회백색의 암색이 주종을 이루며, 다양한 조직을 보여준다. 따라서 포천화강석은 회백색 내지 담홍색의 중립질 반상조직을 가지며, 반정은 석영, 알칼리장석, 및 사장석으로 구성되며, 2~6 nm의 크기를 보여준다. 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 그리고 흑운모가 우세하며, 소량의 백운모, 녹니석, 및 불투명광물이 포함된다. 일부 지역에서는 석류석(유창 및 동인)이, 또는 각섬석(가락)이 함께 수반되기도 한다. 현미경 하에서 석영은 반자형 내지 타형으로 직소광과 파동소광을 보이며, 사장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정과 칼스바드-알바이트 쌍정을 보이며 누대구조와 알바이트 쌍정이 함께 나타난다. 알칼리 장석은 퍼사이트와 미사장석으로 구분되며 대부분의 반정들이 퍼사이트로 나타나며, 반정들은 사장석 광물들이 포함된 포이킬리틱 조직을 잘 보여준다. 흑운모는 기질을 구성하며 부분적으로 균집된 양상을 보여주며, 백운모는 다색성을 띠며 반자형과 타형으로 기질을 구성한다(그림 3B).

익산화강석은 회백색의 암색으로 중립질의 반상조직을 보여주며, 일부 지역에서 중립 내지 세립질의 등립조직을 보여주며, 치밀한 양상으로 주로 조각과 공예의 목적으로 많이 사용된다. 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 및 흑운모가 우세하며, 부성분 광물은 백운모, 녹니석, 그리고 불투명광물 등이다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정과 칼스바드-알바이트 쌍정을 보이며, 누대구조와 알바이트 쌍정이 함께 나타난다. 알칼리장석은 퍼사이트와 미사장석으로 구분되며 대부분의 반정은 퍼사이트로 나타난다. 흑운모는 반자형으로 부분적으로 균집된 양상을 보인다. 백운모는 다색성을 띠며 반자형과 타형으로 기질을 구성한다(그림 3C).

국내에 수입되고 있는 중국거창석은 외견상 거창화강석과 상당히 유사하여 경계석, 계단석, 및 판재 등의 형태로 가공·수입되어 거창화강석을 대체하여 국내 시장을 잠식하고 있다. 중국산 거창석은 회백색의 암색으로 세립질 내지 중립질의 반상조직을 가진다. 구성광

물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 및 흑운모가 우세하며, 소량의 백운모와 불투명광물이 나타난다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정과 칼스바드-알바이트 쌍정을 보이며, 누대구조와 알바이트 쌍정이 함께 나타난다. 알칼리장석은 퍼사이트와 미사장석으로 구분되며, 대부분의 반정들은 퍼사이트로 산출된다. 흑운모는 반자형이며, 백운모는 반자형과 타형으로 기질로 나타난다(그림 3D).

총 39개의 화강석 시료에 대한 모드 광물조성을 표 1에 나타내었으며, 화강암을 분류하는 도표인 석영-알칼리장석-사장석(Q-A-P) 삼각도표에 작도해 보면 그림 4와 같다. 거창화강석의 모드 조성은 화강섬록암과 몬조화강암의 영역에 해당되며, 반정들의 영향으로 넓은 조성변화를 보인다. 포천화강석의 모드 조성은 몬조화강암에 해당되며, 익산화강석의 모드 조성은 몬조화강암에 해당되나 황등석재의 화강석은 화강섬록암에 해당되며, 전체적으로 익산화강석이 포천화강석에 비해 상대적으로 알칼리장석의 양이 다소 많은 것을 알 수 있다. 중국산 거창석의 모드 조성은 몬조화강암과 화강섬록암의 영역에 걸쳐 있다.

#### 노름(Norm) 광물조성

총 39개 화강석에 대한 X-선 형광분석에 의한 주성분 분석치와 CIPW 노름으로 계산한 광물조성은 표 2에 나타내었으며, Or-Ab-An 삼각도표에 작도하면 그림 5와 같다. 노름 계산에는 단종성분의 광물이 참여하기 때문에 알칼리 장석은 K-단종인 정장석과 Ca-단종인 애놀다이트로 나누어지고 사장석은 Na-단종인 알바이트로 표현된다.

거창화강석의 석영 함량은 16.8~24.7%, 정장석의 함량은 17.0~22.4%, 알바이트의 함량은 39.6~43.8%, 애놀다이트의 함량은 10.1~16.7%의 범위를 보여준다. 석영의 양은 아립과 동경의 화강석에 높게 함유되고, 주상과 건덕의 화강석에 상대적으로 낮게 함유되어 있다. 정장석의 양은 아립과 배왕에서 높게 나타나고, 세기에서 가장 낮게 나타난다. 알바이트의 양은 한국대리석이 가장 높은 반면, 배왕과 삼덕에서 상대적으로 낮다. 애놀다이트의 양은 세기가 가장 높고 아립이 가장 낮다.



거창화강석 품질기준 설정을 위한 광물조성 분석

**Table 1.** Modal mineral compositions of granitic rocks (vol.%)

Rock Type	거창화강석													
	아립석재		배왕무역		동경산업		한국대리석		주상기업		건덕석재		경일석재	
Sample	AR1	AR2	BW1	BW2	DG1	DG2	HK1	HK2	JS1	JS2	KD1	KD2	KI1	KI2
Qtz	35.60	29.20	25.20	31.60	29.73	28.88	28.00	23.55	22.53	36.20	25.27	32.20	38.93	37.40
Pl	39.80	45.33	37.93	28.60	51.47	47.86	48.00	40.96	33.73	44.67	47.73	49.00	44.73	43.80
Af	16.67	16.67	23.80	30.87	11.93	17.78	14.60	23.62	31.13	9.27	18.60	12.33	7.87	9.73
Bt	5.00	5.27	5.60	3.27	3.93	3.48	5.93	6.34	6.80	4.93	4.80	4.27	4.13	5.80
Mus	1.13	1.20	2.27	1.53	1.20	0.60	1.20	1.33	0.33	0.80	0.67	0.27	1.00	0.87
Chl	0.07	0.27	0.00	0.13	0.00	0.27	0.00	0.13	0.07	0.07	0.07	-	0.27	0.07
Ser	1.73	2.00	5.00	3.60	1.40	0.94	2.20	3.27	5.33	3.87	2.60	1.73	2.60	2.27
Hb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opq	-	0.07	0.20	0.40	0.33	0.20	0.07	0.80	0.07	0.20	0.27	0.20	0.47	0.07
기타	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Rock Type	거창화강석								포천화강석					
	모동기업		삼덕개발		세기산업		쌍신건설		삼우	동아	유창	동인	영진	금풍
Sample	MD1	MD2	SD1	SD2	SG1	SG2	SS1	SS2	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Qtz	33.3	21.8	27.3	28.1	28.2	31.1	35.0	29.9	41.3	46.8	38.7	40.8	30.3	46.2
Pl	41.2	44.2	42.0	49.1	50.3	45.3	35.0	57.9	23.0	30.3	26.7	29.0	23.7	24.1
Af	19.1	28.1	24.2	16.3	10.2	14.5	22.9	5.8	32.8	18.0	29.9	23.3	41.3	22.0
Bt	4.5	3.8	2.3	1.7	5.6	3.9	4.3	2.7	1.8	2.6	1.4	0.1	3.1	5.5
Mus	0.8	0.7	0.8	1.3	0.9	0.7	0.7	1.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.1	-
Chl	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7	2.9	-	0.3
Ser	0.6	0.9	3.1	2.7	4.4	3.7	1.6	2.1	0.9	1.5	2.3	3.2	1.4	2.0
Hb	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-
Opq	0.5	0.5	0.1	0.5	0.3	0.6	0.4	0.4	0.1	0.6	-	0.3	0.1	-
기타	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Rock Type	포천화강석		익산화강석				중국거창석				
	가락	경서	내산	황등	덕영		경계석		계단석		판재
Sample	P7	P8	H1	H2	H3	H4	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5
Qtz	26.7	33.2	34.5	25.6	38.5	27.3	29.1	30.3	29.2	37.7	24.3
Pl	28.8	26.4	32.9	46.5	34.2	36.3	53.2	47.9	41.5	43.1	40.1
Af	39.1	35.7	26.1	20.3	21.5	30.9	12.5	17.3	23.7	12.1	29.5
Bt	3.4	3.3	4.3	5.8	5.1	3.6	3.1	3.1	2.1	3.8	3.9
Mus	-	-	0.5	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	1.0	0.8
Chl	0.2	0.3	-	-	-	0.1	0.3	0.1	0.5	0.7	0.3
Ser	0.6	1.1	1.4	0.9	0.1	1.0	0.6	0.5	1.5	1.3	0.6
Hb	1.1	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.1	-
Opq	-	-	0.2	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.2	0.5
기타	0.1	-	0.2	0.1	-	-	0.3	-	0.3	0.1	-
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Abbr.: Qtz=quartz, Pl=plagioclase, Af=alkali feldspar, Bt=biotite, Mus=muscovite, Chl=chlorite, Ser=sericite, Hb=hornblende, Opq=opaque

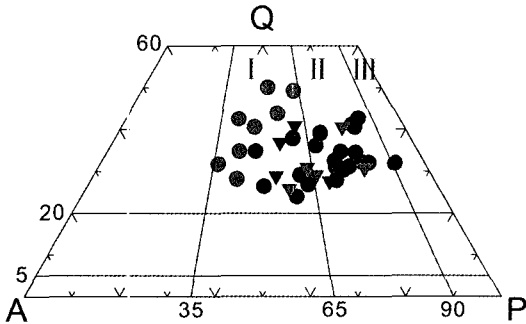


Fig. 4. Modal compositions of granitic rocks from different stone mines in Quartz-Alkali feldspar-Plagioclase (Q-A-P) diagram. Area I, II, and III represents monzogranite, granodiorite, and tonalite, respectively. (Black circle: Geochang, red circle: Pocheor., blue triangle: Iksan, green triangle: China).

포천화강석의 석영의 함량은 20.5~29.9%, 정장석의 함량은 25.0~34.4%, 알바이트의 함량은 33.0~36.7%, 애놀다이트의 함량은 3.5~7.9%의 범위를 보여준다. 석영의 양은 유창과 동인이 높고, 삼우와 동아가 상대적으로 낮으며, 거창화강석과 비교하여 포천화강석이 높음을 알 수 있다. 정장석의 양은 동아가 가장 높고 삼우가 가장 낮는데, 거창과 비교하여 전체적으로 상당히 높다. 포천의 가장 낮은 삼우(24.95%)가 거창에서 가장 높은 아립(22.39%)보다 정장석이 양이 많은데, 이미 암상에서 밝혔듯이 포천화강석은 핑크빛의 정장석이 특징적인 석재로서 정장석의 양이 타 지역 화강석보다 상당히 많이 포함된 것을 분석치에서도 확인할 수 있다. 알바이트의 양은 동인이 높고 금풍이 상대적으로 낮으며, 거창과 비교하여 전체적으로 낮게 나온다. 포천의 가장 높은 동인(36.72%)의 알바이트의 양이 거창의 가장 낮은 배왕(39.6%)보다 낮은 값을 보여준다. 애놀다이트의 양은 금풍이 가장 높고 유창이 가장 낮으며, 거창과 비교하여 상당히 낮다. 엘바이트와 마찬가지로 애놀다이트도 포천의 가장 높은 금풍(7.88%)보다 거창의 가장 낮은 아립(10.08%)이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 거창석과 비교하여 포천석은 상대적으로 정장석은 많이 함유하고, 알바이트와 애놀다이트 사장석은 적게 함유한 것으로 특징지을 수 있다.

익산화강석의 석영의 함량은 22.1~24.0%,

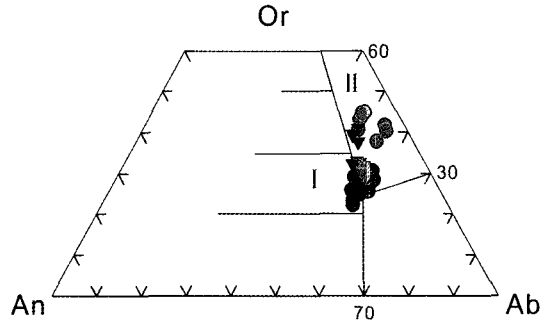


Fig 5. Normative mineral compositions of granitic rocks from different stone mines in Orthoclase-Anorthite-Albite (Or-An-Ab) diagram (after Barker, 1979). Area I and II represent granodiorite and granite, respectively. (Symbols are same as shown in Fig. 4).

정장석의 함량은 22.3~30.1%, 알바이트의 함량은 34.9~36.5%, 그리고 애놀다이트의 함량은 8.6~12.3%의 범위를 각각 보여준다. 분석치가 4개 밖에 되지 않은 탓인지 함량의 변화 폭은 크지 않다. 익산석의 정장석 함량은 거창석보다는 포천석에 가까우며, 석영 및 사장석의 함량은 거창석과 유사하다.

중국거창석의 석영의 함량은 23.1~30.8%, 정장석의 함량은 20.4~23.6%, 알바이트의 함량은 33.6~39.7%, 애놀다이트의 함량은 10.6~11.7%의 범위를 각각 보여준다. 석영의 양은 판재가 경계석이나 계단석보다 대체로 높으며, 거창석과 비교하여 중국석이 다소 많이 함유하고 있다. 정장석의 경우 변화의 범위는 그리 크지 않으나 계단석이 다소 높은 값을 가지며, 거창석과는 유사한 조성의 범위를 보여준다. 알바이트는 석영과는 반대로 판재가 상대적으로 적은 값을 가지며 거창석과 비교하여 낮은 함량을 보여주는데, 가장 높은 값을 가지는 중국의 경계석(39.66%)이 거창석 중 가장 낮은 배왕무역(39.61%)과 유사한 값을 가진다. 애놀다이트의 양은 거의 변화가 없으며, 거창석과 유사한 값을 가진다. 따라서 광물 노름 조성을 고려할 때, 비록 석영의 양이 거창석보다 중국석이 다소 높다고는 하나 두 석재를 구별하기가 쉽지 않음을 알 수 있다.

고용체 조성을 고려하지 않고 단종 성분의 광물만을 고려하는 CIPW 노름 계산의 경우 고용체 조성을 보여주는 사장석에 대한 정확한

거창화강석 품질기준 설정을 위한 광물조성 분석

**Table 2.** Major elements and normative minerals of granitic rocks by X-ray fluorescence analyses

Rock Type	거창화강석 (wt.%)													
	아림석재		배왕무역		동경산업		한국대리석		주상기업		건덕석재		경일석재	
Sample	AR1	AR2	BW1	BW2	DG1	DG2	HK1	HK2	JS1	JS2	KD1	KD2	KI1	KI2
SiO <sub>2</sub>	71.05	70.10	67.40	68.31	69.33	70.20	67.33	66.94	68.02	66.94	67.93	66.18	68.15	68.97
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.18	0.26	0.28	0.24	0.22	0.28	0.28	0.29	0.28	0.31	0.41	0.27	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.14	16.52	17.66	17.17	16.81	16.69	17.97	18.14	17.36	18.16	17.25	17.72	17.29	17.35
FeOT	1.18	1.20	1.57	1.59	1.48	1.30	1.48	1.48	1.63	1.62	1.83	2.34	1.59	1.25
MnO	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
MgO	0.34	0.35	0.60	0.62	0.45	0.39	0.47	0.46	0.53	0.50	0.63	0.85	0.47	0.38
CaO	2.10	2.07	2.93	2.81	2.54	2.47	3.09	3.09	2.95	2.97	3.08	3.26	2.48	2.43
Na <sub>2</sub> O	4.82	4.80	4.91	4.65	4.96	4.83	5.04	5.13	4.88	4.99	4.71	4.77	4.91	4.99
K <sub>2</sub> O	3.40	3.75	3.63	3.67	3.15	3.17	3.21	3.25	3.17	3.50	3.31	3.31	3.62	3.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.08	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11	0.06	0.05
LOI	0.40	0.49	0.52	0.50	0.51	0.47	0.60	0.57	0.65	0.54	0.49	0.56	0.58	0.50
Total	99.68	99.54	99.58	99.69	99.56	99.82	99.58	99.44	99.59	99.61	99.67	99.55	99.45	99.69
Normative minerals														
Qtz	24.7	22.6	17.3	19.8	21.9	23.8	18.1	17.0	20.0	17.0	19.9	16.8	19.3	20.4
Or	20.3	22.4	21.7	21.9	18.8	18.9	19.2	19.4	19.0	20.9	19.7	19.8	21.7	21.1
Ab	41.0	41.0	41.9	39.6	42.3	41.1	43.0	43.8	41.7	42.6	40.1	40.7	42.0	42.5
An	10.3	10.1	14.3	13.8	12.4	12.0	15.0	15.1	14.3	14.4	14.8	15.7	12.1	11.9
Cc	0.8	0.9	0.4	0.5	0.7	0.9	0.8	0.7	0.7	0.9	0.5	0.6	0.9	1.0
Hy en	0.9	0.9	1.5	1.6	1.1	1.0	1.2	1.2	1.1	1.3	1.6	2.2	1.2	1.0
Hy fs	1.4	1.4	1.8	1.8	1.7	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8	2.0	2.6	1.8	1.4
Mt	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.4
Il	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.8	0.5	0.4
Ap	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
-----														
Rock Type	거창화강석								포천화강석					
	모동기업		삼덕개발		세기산업		쌍신건설		삼우	동아	유창	동인	영진	금풍
Sample	MD1	MD2	SD1	SD2	SG1	SG2	SS1	SS2	P1	P2	P3	P4	P5	P6
SiO <sub>2</sub>	69.21	69.42	68.74	69.90	67.55	67.35	69.87	67.80	72.55	70.85	74.44	74.71	71.83	71.25
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.24	0.25	0.22	0.30	0.33	0.24	0.27	0.12	0.13	0.01	0.01	0.16	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.16	16.97	16.98	16.23	17.65	17.63	16.70	17.45	14.52	16.06	14.14	13.76	15.06	14.91
FeOT	1.17	1.23	1.58	1.37	1.63	1.81	1.41	1.68	0.76	0.97	0.95	0.93	1.21	2.23
MnO	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.05	0.02	0.03	0.06
MgO	0.38	0.38	0.48	0.45	0.60	0.63	0.42	0.54	0.23	0.26	0.04	0.03	0.38	0.26
CaO	2.77	2.81	2.42	2.28	3.42	3.32	2.54	2.45	1.22	1.20	0.71	0.77	1.41	1.61
Na <sub>2</sub> O	4.94	4.80	4.81	4.64	4.95	4.87	4.73	4.95	4.09	4.25	4.24	4.31	3.92	3.87
K <sub>2</sub> O	3.38	3.29	3.61	3.44	2.84	2.97	3.20	3.73	4.91	5.79	4.80	4.63	5.23	4.74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.08	0.07	0.08	0.09	0.06	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
LOI	0.46	0.41	0.70	1.04	0.57	0.67	0.37	0.50	1.17	0.29	0.36	0.35	0.36	0.49
Total	99.77	99.63	99.69	99.68	99.62	99.70	99.57	99.48	99.63	99.87	99.75	99.53	99.61	99.62

Table 2. continued

Rock	거창화강석								포천화강석					
Type	모듬기업		삼덕개발		세기산업		쌍신건설		삼우	동아	유창	동인	영진	금풍
Sample	MD1	MD2	SD1	SD2	SG1	SG2	SS1	SS2	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	Normative minerals													
Qtz	20.8	22.1	20.7	24.0	19.3	19.2	23.7	18.2	20.5	20.6	29.4	29.9	25.0	25.7
Or	20.1	19.6	21.6	20.6	17.0	17.7	19.1	22.3	25.0	34.4	28.6	27.6	31.2	28.3
Ab	42.0	40.9	41.1	39.8	42.2	41.6	40.3	42.3	35.1	36.1	36.1	36.7	33.4	33.0
An	13.6	13.8	11.7	11.1	16.7	16.1	12.4	11.9	6.1	5.9	3.5	3.8	7.0	7.9
Cc	0.4	0.5	1.0	0.9	0.4	0.6	1.0	1.0	0.3	0.6	0.7	0.3	0.4	0.5
Hy en	1.0	1.0	1.2	1.1	1.5	1.6	1.1	1.4	0.6	0.7	0.1	0.1	1.0	0.7
Hy fs	1.3	1.3	1.8	1.6	1.8	2.0	1.6	1.9	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5	3.0
Mt	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.6
Il	0.4	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.2	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3
Ap	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Rock	포천화강석		익산화강석				중거창석				
Type	가락	경서	내산	황등	덕영		경계석		계단석		판재
Sample	P7	P8	H1	H2	H3	H4	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5
SiO <sub>2</sub>	71.33	71.44	69.89	69.53	69.84	70.51	70.47	70.96	70.32	72.81	71.98
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.07	0.28	0.41	0.31	0.27	0.18	0.17	0.14	0.15	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.27	15.77	16.18	16.00	16.27	15.94	16.33	15.99	16.56	14.98	15.48
FeOT	1.21	1.06	1.37	2.01	1.43	1.25	1.33	1.27	1.03	1.17	1.17
MnO	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
MgO	0.37	0.16	0.34	0.54	0.34	0.34	0.38	0.35	0.29	0.32	0.33
CaO	1.48	1.32	2.07	2.59	2.13	1.76	2.36	2.18	2.31	2.14	2.30
Na <sub>2</sub> O	4.03	4.00	4.28	4.20	4.10	4.18	4.66	4.52	4.54	3.95	4.42
K <sub>2</sub> O	5.36	5.62	4.58	3.74	4.82	5.06	3.48	3.77	3.96	3.57	3.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.06	0.11	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03
LOI	0.38	0.32	0.44	0.35	0.38	0.30	0.42	0.43	0.46	0.39	0.35
Total	99.61	99.80	99.51	99.50	99.70	99.66	99.69	99.71	99.67	99.55	99.68

	Normative minerals										
Qtz	23.2	23.1	22.3	24.0	22.1	22.2	24.0	24.6	23.1	30.8	27.4
Or	31.9	33.4	27.3	22.3	28.7	30.1	20.7	22.5	23.6	21.3	20.4
Ab	34.3	35.0	36.5	35.8	34.9	35.6	39.7	38.5	38.7	33.7	37.6
An	7.3	6.5	10.0	12.3	10.3	8.6	11.6	10.7	11.4	10.6	11.3
Cc	0.2	0.7	0.5	0.6	0.6	0.4	0.7	0.6	0.6	0.8	0.4
Hy en	0.9	0.4	0.9	1.4	0.9	0.9	1.0	0.9	0.7	0.8	0.5
Hy fs	1.5	1.4	1.4	2.1	1.5	1.3	1.6	1.5	1.3	1.5	1.5
Mt	0.3	0.3	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
Il	0.3	0.1	0.5	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Ap	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1

Abbr.: Qtz=quartz, Or=orthoclase, Ab=albite, An=anorthite, Cc=calcite, Hy=hypersthene, en=enstatite, fs=ferrosilite, Mt=magnetite, Il=ilmenite, Ap=apatite

**Table 3.** Mineral compositions of granitic rocks by Rietveld method using X-ray powder diffraction data (wt.%)

Rock Type	거창화강석													
	아립석재		배왕무역		동경산업		한국대리석		주상기업		건덕석재		경일석재	
Sample	AR1	AR2	BW1	BW2	DG1	DG2	HK1	HK2	JS1	JS2	KD1	KD2	K11	K12
Qtz	37.7(2)	33.6(2)	23.3(2)	29.3(2)	28.8(2)	31.5(2)	28.1(2)	22.6(2)	33.7(2)	20.4(2)	33.1(1)	28.0(2)	23.4(2)	22.6(2)
Af	18.7(2)	23.4(3)	20.0(2)	21.8(2)	12.5(2)	20.9(3)	19.1(2)	17.7(2)	14.2(2)	18.4(2)	10.0(1)	14.0(2)	18.6(2)	20.5(3)
Pl	40.2(2)	39.9(3)	50.2(3)	42.2(3)	54.8(3)	44.2(3)	48.7(3)	55.9(3)	48.5(3)	56.8(3)	54.7(2)	53.2(3)	53.6(4)	54.9(4)
Mica	3.5(3)	3.1(4)	6.1(4)	6.8(4)	3.0(4)	3.5(4)	4.1(5)	3.7(4)	2.9(4)	4.4(4)	2.2(3)	4.4(4)	2.1(4)	1.4(4)
Hb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chl	-	-	-	-	0.9(4)	-	-	0.1(4)	0.7(4)	-	-	0.4(4)	2.3(4)	0.6(4)
$\chi^2$	6.33	6.32	6.31	6.94	6.35	6.48	6.81	6.87	6.45	6.68	5.01	6.82	5.73	6.68

Rock Type	거창화강석								포천화강석					
	모동기업		삼덕개발		세기산업		쌍신건설		삼우	동아	유창	동인	영진	금풍
Sample	MD1	MD2	SD1	SD2	SG1	SG2	SS1	SS2	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Qtz	29.2(2)	30.0(3)	33.9(2)	42.8(2)	23.8(2)	30.6(2)	32.1(2)	25.8(2)	35.0(2)	24.6(1)	42.0(2)	49.8(3)	29.1(3)	31.5(2)
Af	16.5(2)	16.9(2)	20.2(2)	17.2(3)	12.5(2)	20.2(3)	16.0(2)	20.6(3)	27.1(2)	27.3(2)	25.0(2)	26.0(2)	24.8(3)	29.6(2)
Pl	51.8(3)	49.0(4)	42.7(3)	37.9(3)	57.9(3)	44.4(3)	47.3(3)	48.3(4)	34.6(2)	44.7(2)	30.4(2)	20.3(2)	39.0(4)	34.9(2)
Mica	1.4(3)	3.9(4)	3.1(4)	2.0(2)	5.9(4)	4.0(4)	4.2(3)	3.7(5)	3.3(3)	3.4(3)	1.9(3)	2.9(4)	3.7(5)	4.0(4)
Hb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4(6)	-
Chl	1.1(3)	0.2(5)	-	-	-	0.8(4)	0.4(3)	1.6(5)	-	-	0.7(3)	0.9(4)	-	-
$\chi^2$	6.53	6.40	6.75	5.81	6.57	6.40	5.35	6.56	4.72	5.67	5.72	5.45	6.80	5.91

Rock Type	포천화강석		익산화강석				중국거창석				
	가락	경서	내산	황등	덕영		경계석		계단석		판재
Sample	P7	P8	H1	H2	H3	H4	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5
Qtz	33.2(3)	26.9(1)	34.2(2)	32.3(2)	32.6(2)	33.6(2)	35.9(1)	33.7(2)	28.3(2)	40.9(2)	42.7(2)
Af	27.6(3)	30.9(2)	22.3(2)	16.1(2)	23.8(2)	25.1(2)	13.2(1)	15.2(1)	19.0(2)	15.4(1)	16.2(2)
Pl	31.5(3)	36.1(2)	37.7(3)	47.1(3)	40.5(3)	37.7(2)	48.0(2)	48.2(2)	49.1(3)	41.4(2)	37.9(2)
Mica	2.3(4)	6.2(3)	5.0(4)	4.4(4)	3.1(4)	3.7(4)	2.6(2)	2.8(3)	2.1(3)	2.2(3)	3.2(4)
Hb	5.4(6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chl	-	-	0.8(4)	-	-	-	0.3(2)	-	1.5(4)	0.1(0)	-
$\chi^2$	5.79	5.65	5.76	6.13	5.72	5.05	3.62	6.77	6.39	6.03	6.11

Abbr.: Qtz=quartz, Af=alkali feldspar, Pl=plagioclase, Hb=hornblende, Chl=chlorite

광물조성 결정이 매우 어렵다. 따라서 광물조성으로 암석명을 결정할 때는 Q-A-P 삼각도 표 작도보다는 Barker (1979)가 제안한 Or-An-Ab 삼각도에 작도하는 것이 보편적이다. 그림 5를 보면 거창화강석(흑색 원)은 화강섬록암과 화강암의 경계에 분포하며, 포천화강석(적색 원)은 화강암 영역에 분포하고, 익산화강석(청색 역삼각형)은 거창석과 포천석 사이에 놓여 화강암에 가까운 광물 조성을 보여 준다. 그리고 중국거창석(녹색 역삼각형)은 거창화강석과 거의 겹쳐 분포하고 있으며, 화강

암 영역에 놓인다.

### 리트벨트 정량 분석

총 39개 화강석 시료를 대상으로 리트벨트법을 이용한 SiroQuant 프로그램으로 계산한 정량 분석 결과를 표 3에 나타내었다.

거창화강석은 표 3에서 보듯이, 전체 결과치의  $\chi^2$ 의 값은 5.01~6.94%로 대체로 6% 내외의 값을 갖는다. 통상  $\chi^2$ 의 값이 7% 미만이면 좋은 분석치로 판단하는데, 거창화강석에 대한

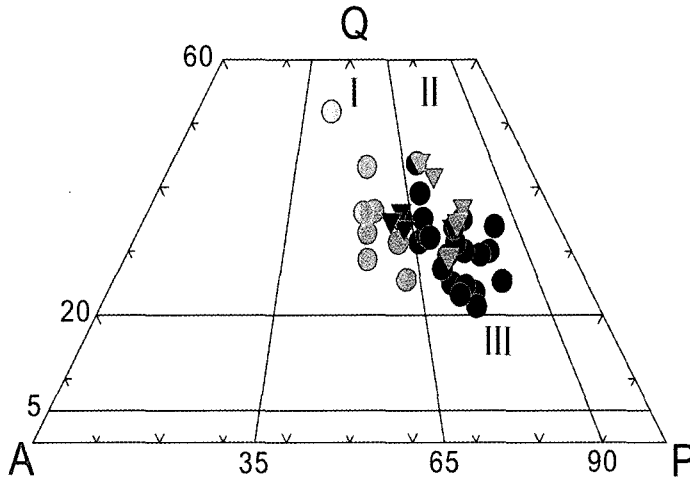
정량분석은 비교적 잘 된 것으로 생각된다. 거창화강석의 석영 함량은 22.6~42.8%, 알칼리 장석은 12.5~23.4%, 사장석은 37.9~57.9%, 운모는 1.4~6.8%의 범위를 보여준다. 석영의 양은 배왕과 경일의 화강석이 상대적으로 적으며, 아립과 삼덕의 화강석이 비교적 높게 나타났다. 알칼리 장석의 양은 건덕과 모동이 상대적으로 낮고, 배왕과 아립이 높게 나타났다. 화강석의 흰색에 영향을 미치는 사장석은 아립과 삼덕이 낮게 나타났으며, 건덕, 경일 및 모동이 비교적 높게 나타났다. 화강석의 검은 무늬로서 전체 색이 영향을 미치는 흑운모의 양은 경일과 모동이 낮게 나타났으며, 배왕과 세기가 높게 나타났다. 부성분 광물로는 녹니석이 관찰되나 양은 대부분 1% 미만으로 모동과 경일 및 쌍신의 석재에 함유되어 있다.

포천화강석은 전체 결과치의  $\chi^2$ 의 값은 4.72~6.80%로 대체로 5.5% 내외의 값을 갖는데, 포천화강석에 대한 정량분석 역시 비교적 잘 된 것으로 생각된다. 포천화강석의 석영 함량은 24.6~49.8%, 알칼리 장석은 24.8~30.9%, 사장석은 20.3~44.7%, 운모는 1.9~6.2%의 범위를 보여준다. 석영의 양은 동아가 상대적으로 적으며, 동인이 가장 높게 나타났다. 석영의 양은 거창과 비교하여 큰 차이가 없으나 분포 범위가 포천이 넓게 나타났으며, 포천의 동인(49.8%)의 경우 가장 높은 값을 보여주는 거창의 삼덕(42.8%)보다 높은 것으로 나타났다. 알칼리 장석의 양은 영진이 가장 낮고, 경서가 가장 높게 나타났다. 거창(12.5~23.4%)과 비교하여 알칼리 장석의 양(24.8~30.9%)이 상당히 높은 것으로 나타나 거창과 포천 화강석은 알칼리 장석에서 뚜렷한 차이를 보여주었다. 실제 거창화강석이 회색을 띠는데 반해 포천 화강석이 핑크색을 띠는 것이 바로 알칼리 장석이 많다는 것을 X-선 정량분석 결과 확인할 수 있다. 사장석은 동인이 가장 낮았으며, 동아가 가장 높게 나타났다. 거창과 비교하여 알칼리 장석과는 반대로 사장석의 양은 거창(37.9~57.9%)이 포천(20.3~44.7%)보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 흑운모의 양은 유창이 낮게 나타났으며, 경서가 상당히 높게 나타났다. 거창과 포천 사이에 흑운모의 양은 큰 차이를 보여주지 않는다. 특히 부성분 광물로서 거창에서는 관찰되지 않는 각섬석이 포천의 영

진(3.4%)과 가락(5.4%)에서 관찰되는 것이 특징적이다. 그리고 소량의 녹니석이 유창(0.7%)과 동인(0.9%)에서 관찰되고 있다.

익산화강석은 전체 결과치의  $\chi^2$ 의 값은 5.05~6.13%로 대체로 5.5% 내외의 값을 갖는데, 익산 화강석에 대한 정량분석 역시 비교적 잘 된 것으로 생각된다. 익산 화강석의 석영 함량은 32.3~34.2%, 알칼리 장석은 16.1~25.1%, 사장석은 37.7~47.1%, 운모는 3.1~5.0%의 범위를 보여준다. 익산 화강석은 분석치가 4개 밖에 되지 않아 상대적으로 거창이나 포천에 비해 광물 함량의 변화폭이 크지 않아 경향을 파악하는데 다소 무리가 있을 수 있다. 석영의 양은 33% 내외로 큰 차이를 보여주지 않으며, 거창이나 포천과 비교하여 다소 적은 값을 보여준다. 그러나 이 값은 전형적인 화강석의 석영 함량으로 석영만으로는 거창석이나 포천석과 차별이 거의 없는 것을 의미한다. 알칼리 장석의 양은 황등이 가장 낮고(16.1%), 나머지는 23% 내외의 유사한 값을 보여준다. 거창(10.0~23.4%)과 유사한 값을 보여주고, 포천석(24.8~30.9%)보다는 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 거창석과 익산석이 외양적으로 상당히 유사한 이유이다. 사장석은 반대로 황등이 가장 높고(47.1%), 나머지는 38% 내외의 값을 보여준다. 사장석의 양은 거창(37.9~57.9%)보다는 낮고, 포천(20.3~44.7%)보다는 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 따라서 사장석의 양으로 비교하면 익산석은 거창석과 포천석 사이에 분포하는 것을 알 수 있다. 흑운모의 양은 내산이 가장 높은데, 전체적으로 4% 내외의 값을 보여준다. 거창과 포천에 비해 흑운모의 양은 상대적으로 약간 높은 값을 보여주는 경향이 있다. 부성분 광물은 거의 관찰되지 않아 내산에서만 약간의 녹니석(0.8%)이 관찰될 뿐이다.

중국 거창석은 전체 결과치의  $\chi^2$ 의 값은 3.62~6.77%의 범위를 보여주며, 분석이 매우 양호한 경계석 CG1(3.62%)을 제외하면 대체로 6.4% 내외의 값을 갖는데, 수입 화강석에 대한 정량분석 역시 비교적 잘 된 것으로 생각된다. 수입 화강석의 석영 함량은 28.3~42.7%, 알칼리 장석은 13.2~19.0%, 사장석은 37.9~49.1%, 운모는 2.1~3.2%의 범위를 각각 보여준다. 분석된 시료가 5개 불과하여 구성광물 조성 변화



**Fig. 6.** Mineral compositions of granitic rocks by Rietveld method using X-ray powder diffraction data. Area I, II, and III represent monzogranite, granodiorite, and monzodiorite, respectively. (Symbols are same as shown in Fig. 4).

를 뚜렷하게 특징짓기에는 다소 무리가 있을 수 있다. 석영의 양은 계단석이 28.3%로 가장 적고, 판재가 상대적으로 높게 나타났다. 석영의 양은 거창석과 비교하여 경계석의 경우 큰 차이가 없으나 판재는 중국석이 다소 높은 것으로 생각된다. 그러나 국내석의 포천이나 익산의 경우처럼 화강석에 함유된 석영의 양은 일정하기 때문에 석영만으로 산지의 구별은 용이하지도 않고 의미도 없다. 알칼리 장석의 양은 대체로 범위의 폭이 좁으며, 계단석이 19.0%로 가장 높고, 경계석이 13% 내외로 상대적으로 낮은 값을 보여준다. 거창(10.0~23.4%)과 비교하여 큰 차이를 보여주지 않아 석재 시장에서의 구별이 쉽지 않음을 보여준다. 사장석의 함량은 판재가 39% 내외로 상대적으로 낮고, 경계석과 계단석 모두 48~49%의 높은 값을 보여준다. 거창과 비교하여 사장석의 양은 거창석(37.9~57.9%)이 중국석(37.9~49.1%)보다 다소 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 그러나 사장석 또한 중국석이 거창석의 분포 범위 내에 존재하기 때문에 뚜렷이 구별 짓기는 어렵다. 화강석의 전체적인 무늬와 색상에 영향을 주는 흑운모의 양은 2~3% 범위의 값을 보여주는데, 거창석에 비해 다소 낮은 값을 갖지만, 육안으로 쉽게 구별할 정도는 아니다. 결국 X-선 분석에 의한 구성광물의 조성으로는 거창석과 중국산 거창석과는 차이가

거의 없는 것으로 밝혀졌다.

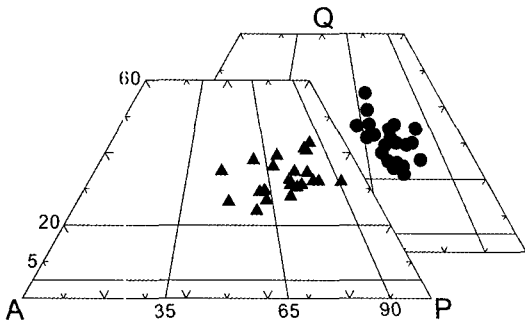
이들 39개의 분석치를 Q-A-P 도표에 작도해보면 그림 6과 같다. 거창화강석(흑색 원)은 전형적인 화강섬록암에 해당되는 것을 알 수 있다. 사장석의 함량은 모동, 건덕, 경일이 많으며, 석영의 함량은 아람과 삼덕이 상대적으로 높다. 포천화강석(적색 원)은 문조화강암에 해당되는 것을 알 수 있다. 거창석과 비교하면 포천석은 알칼리 장석은 많고 사장석은 적어 뚜렷이 구별된다. 익산화강석(청색 역삼각형)은 포천석과 구별되어 다소 오른쪽으로 분포하는 것을 알 수 있으며, 문조화강암 내지 화강섬록암에 해당된다. 거창석과 비교하면 익산석은 포천석과 거창석 사이에 분포하는 것을 알 수 있다. 한편, 중국거창석(녹색 역삼각형)은 화강섬록암에 해당되는 것을 알 수 있다. 안타깝게도 거창석과 전혀 구별이 되지 않으며, 따라서 중국석에 대비하여 거창석의 차별화는 석재 자체만으로는 불가능하다.

#### 분석 방법의 비교

총 39개의 화강석 시료에 대하여 광물조성을 결정하기 위해 현미경 육안관찰을 통한 광물모드 분석, X-선 형광 분석치를 근거로 계산한 노름 광물조성, 그리고 리트벨트 정량법에 의한 광물조성을 각각 결정하였으며, 그 결과 결

**Table 4.** Classification of granitic rocks from different stone mines

Method	Locality	Geochang	Pocheon	Iksan	China
Modal Analyses		monzogranite granodiorite	monzogranite	monzogranite	monzogranite granodiorite
Norm Calculation		granite granodiorite	granite	granite	granite
Rietveld Method		granodiorite	monzogranite	monzogranite granodiorite	granodiorite



**Fig. 7.** Comparison of modal analyses (triangle) and Rietveld method (circle) using mineral compositions of Geochang granitic rocks in Q-A-P diagrams.

정된 암석명은 표 4에 정리하였다. 그리고 분석방법을 비교하기 위해 광물조성 결정이 비교적 정확한 모드 분석과 리트벨트법으로 구해진 22개의 거창화강석의 광물조성을 Q-A-P 삼각도에 작도하였다(그림 7).

표 4에서 보듯이, 세 가지 분석법에 의한 화강석의 광물조성은 거의 유사한 암석명을 보여주었으나 지역별로 다소 차이를 보인다. 거창화강석은 모드분석 및 노름 계산에 의하면 monzogranite(또는 그냥 화강암) 내지 화강섬록암의 광물조성을 가지며, 리트벨트법에 의하면 화강섬록암의 조성을 가진다. 포천화강석의 경우 세 가지 분석법 모두 monzogranite의 광물조성을 가진다. 익산화강석은 모드 분석과 리트벨트법에서 monzogranite와 화강섬록암의 영역의 광물조성을 보여주며, 노름 계산에서는 화강암의 조성을 보여준다. 중국거창석은 모드 분석과 노름 계산에서 monzogranite의 조성을 보여주며, 리트벨트법에서 화강섬록암의 조성을 보여준다.

모드 분석은 손쉽고 광물조성을 구하기 위해 가장 널리 이용하는 방법이다. 광물 감정에 숙련되었다면 정확하게 구성광물을 결정할 수 있기 때문이다. 다만, 현미경을 통해 육안관찰에 의존하다 보니 반드시 감정이 가능할 정도의 광물입자가 충분히 커야 하며, 반대로 광물입자의 크기가 아주 미립이거나 변질이나 변성이 심해 감정이 어려운 경우는 모드 분석이 용이하지 않다. 따라서 이번 연구시료처럼 주로 중립질 내지 세립질의 반상조직을 보여주는 화강암의 경우 비교적 정확하게 모드 광물조성을 결정할 수 있다. 그러나 그림 4에서 이미 보았듯이, Q-A-P 도표에서 거창화강석이나 중국거창석의 광물조성이 monzogranite와 화강섬록암 사이에 넓게 분포하여 한 가지 암석의 조성을 보여주지 않는다. 그 이유는 다양한 크기의 반정의 영향으로 판단되며, 고용체 조성을 보여주는 사장석의 경우 일부 사장석이 알칼리 장석으로 반영될 여지가 다분하기 때문이다. 따라서 실제 광물조성보다 알칼리장석 영역으로 이동할 가능성을 전혀 배제하기 어렵다.

암석의 광물 조성을 고려할 때, CIPW 노름 계산은 실제 암석의 정확한 광물 조성을 반영한다고 판단하기에 다소 무리가 있다. 특히 마그마 분화에서 후기에 정출하는 화강암의 경우 함수광물을 많이 수반하고 대부분의 사장석이 고용체 조성을 보여주기에 때문에 더욱 적절치 않다. 왜냐하면 CIPW 노름 계산은 보웬 반응 계열에 따라 광물 정출 순으로 초기 광물부터 분리하고 특히 함수광물을 배제하고 고용체의 경우 단종만 참여시키는 것을 전제하기 때문이다. 표 2에서 보듯이, 표 1의 모드 분석과 비교하여 알칼리 장석(정장석 + 알바이트)의 값이 상대적으로 높게 산출되고, 반대로 사장석(애



놀다이트)은 훨씬 적게 계산된 것을 알 수 있다. 또한 화강석의 암색을 결정하는 함수 광물인 흑운모와 백운모, 녹니석 등은 노름 계산에서는 전혀 참여하지 못하고 있다. 석영 또한 모드 분석치보다 노름 계산에서 낮게 산출되어 정확한 광물조성을 반영하였다고 보기 힘들다. 따라서 Q-A-P 도표에 작도하는 것이 부적절하며, 그림 5에서처럼 장석의 단종만으로 암석명을 결정하는 Or-An-Ab 도표에 작도하여 암석명을 결정하게 된다.

리트벨트법을 이용한 광물정량분석은 광물 분말시료를 이용한 X-선 회절 데이터를 사용하기 때문에 암석의 조직이나 구성 입자의 크기에 전혀 구애를 받지 않는다. 따라서 모드 분석이 화강암 등 일부 화성암에 제한적으로 사용되던 한계를 벗어나 모든 암석의 광물 조성을 구하는데 사용이 가능하다. 더구나 광물 입자가 미립 내지 극미립 상태이거나, 미고결된 암석 또는 토양 등 모든 종류의 지구물질의 광물조성을 결정하는데 사용이 가능하다. 그러나 이런 장점에도 불구하고 그 동안 리트벨트법은 높은 결정학적 지식과 까다로운 계산 과정 등으로 결정구조 연구 등에만 적용되어 왔다. 다행히, 최근에 까다로운 계산 과정을 단순화하여 정량적인 결과만 얻을 수 있도록 상용화된 프로그램 덕분에 X-선 회절 분석법을 이용한 광물정량이 가능함으로써 리트벨트법이 결정학자들의 전유물에서 벗어나게 되었다. 다만, 리트벨트 정량법의 단점은 X-선 회절선의 높이(즉 회절선의 면적)로 부터 광물조성을 직접 결정하기 때문에 회절선에 영향을 미칠 수 있는 실험의 준비과정이나 광물고유의 편향성(preferred orientation) 효과 등이 광물정량의 오차를 유발할 수 있다는 점이다. 그림 5와 표 4에서 보듯이, 거창화강석과 중국거창석은 같은 화강섬록암으로 밝혀져 두 암석의 구별이 용이하지 않음을 잘 보여주고 있다. 따라서 정확한 X-선 회절 데이터를 얻을 수만 있다면, 리트벨트 정량법은 가장 객관적인 광물정량의 방법이 될 수 있다.

그림 7은 거창지역의 11개 석산 22개의 화강석에 대해 모드 분석과 리트벨트법을 비교하고 있다. 모드 분석에서 광물 조성 변화가 넓게 분산되는 데 비해 리트벨트 정량법은 좁은 범위에서 분포하여 상대적으로 정확히 광물조성

이 결정된 것을 알 수 있다. 모드 분석은 현미경 관찰자의 숙련도와 암석 조직에 따른 광물 감정의 오류 가능성, 특히 화강암의 전형적인 고용체 사장석에 대한 알칼리장석과 사장석의 구분의 오류 등을 고려하면, 리트벨트법은 기기분석에 의해 얻어지는 자료라는 객관성은 광물 조성 결정에 오차를 줄일 가능성이 훨씬 높게 된다. 앞으로 리트벨트 정량법은 모든 종류의 암석뿐만 아니라 토양 및 각종 결정질 물질에 대한 정량분석의 표준분석법으로 널리 사용되리라 예상되며, 화성암류에 대해 보다 정확하고 객관적인 광물 조성 결정을 위해 단지 손쉽다는 이유만으로 널리 사용되는 모드 분석과 더불어 리트벨트 정량법을 함께 사용하거나 또는 리트벨트 정량법이 모드 분석법을 대체할 필요가 있다고 사료된다.

## 결 론

이번 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 거창화강석 품질기준 설정을 위해 정확한 광물조성을 결정하기 위하여 거창지역 석산 11곳 화강석 시료와 이를 비교하기 위해 포천의 8곳 석산과 익산의 3곳의 석산에서 산출되는 화강석 및 중국에서 수입한 중국거창석 등 총 39개의 화강석에 대해 현미경 육안관찰에 의한 광물 모드 분석, X-선 형광분석에 의한 CIPW 노름 계산, 그리고 X-선 회절분석 데이터를 이용한 리트벨트 광물정량 분석을 각각 실시하였다.

2) 거창화강석은 대부분 회백색 내지 암색으로 중립질의 반상조직을 가지며, 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 그리고 흑운모가 우세하며, 소량의 백운모, 녹니석 및 불투명광물로 이루어진다. 반정으로 석영은 반자형 내지 타형으로 직소광과 파동소광을 보이며, 사장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정과 칼스바드 쌍정을 보이며, 누대구조를 보이기도 한다. 알칼리장석은 퍼싸이트와 미사장석으로 구분되며, 퍼싸이트는 사장석 광물이 포함된 포이킬리틱 조직을 잘 보여준다.

3) Q-A-P 삼각도에 작도한 광물 모드 분석에 의하면, 거창화강석은 화강섬록암 내지 문조화강암에 해당되며, 반정들의 영향으로 넓은

조성 변화를 보인다. 포천화강석과 익산화강석은 몬조화강암에 해당되나 익산석이 포천석에 비해 상대적으로 알칼리장석의 양이 다소 많다. 중국거창석은 몬조화강암과 화강섬록암의 조성을 보여준다.

4) CIPW 방식에 의한 노름 계산법은 함수광물과 고용체 조성의 장석이 배제되어 실제 화강석의 구성광물을 반영한다고 보기 어려우며, 장석 단종 광물인 Or-An-Ab 삼각도에 작도하였다. 거창화강석의 노름 조성은 화강섬록암과 화강암의 경계에 분포하고, 포천과 익산의 화강석은 화강암에 해당되나 익산화강석은 거창석과 포천석 사이의 조성을 보여주고, 중국거창석은 거창석과 유사한 조성을 보여준다.

5) 리트벨트 광물정량 분석에 의하면, 거창화강석은 전형적인 화강섬록암에 해당되며, 포천화강석은 몬조화강암으로 거창석에 비해 알칼리장석은 많고 사장석은 적어 뚜렷이 구별된다. 익산화강석은 몬조화강암 내지 화강섬록암에 해당되며, 거창석과 포천석 사이의 조성을 보여준다. 중국거창석은 화강섬록암에 해당되어 거창석과 구별이 쉽지 않다.

6) 광물조성을 구하는 서로 다른 분석방법을 비교한 결과, X-선 회절분석 데이터를 이용하는 리트벨트 정량법이 상대적으로 정확한 광물 조성을 보여주는 것으로 판단되며, 리트벨트 정량법이 모든 종류의 암석, 토양 및 결정질 물질에 대한 정량분석의 표준분석법으로 널리 사용되리라 예상된다. 단, 리트벨트 정량법이 보다 객관성을 얻기 위하여, X-선 회절 데이터를 얻는 과정이나 계산 과정에서 보다 엄격한 검토가 이루어져야 한다.

7) 저가의 중국거창석이 시장을 크게 위협하고 있는 상황에서 거창화강석이 광물 조성에 있어 중국거창석과 전혀 구별이 되지 않으며, 따라서 중국석에 대비하여 거창석의 차별화는 석재 자체만으로는 불가능하며, 다른 기능을 첨가한 첨단 석재에 의한 차별화가 절실히 요구된다.

### 참 고 문 헌

권성택, 이진한 (1997) 호남전단대의 운동시기에 관한 소고. 지질학회지, 33, 183-188.  
 김남장, 김정환 (1970) 한국지질도 1:5만 거창 지질

도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 14p.  
 김용준, 조등룡, 박영석 (1989) 거창지역에 분포하는 중생대 화성암류에 대한 연령과 주성분 광물의 화학조성. 광산지질, 22, 117-127.  
 김용준, 김정빈, 박재봉 (1991) 호남전단대내에 분포하는 엽리상화강암류의 암석화학과 성인. 지질학회지, 27, 52-63.  
 김용준, 박영성, 강상원 (1994) 호남 전단대내에 분포하는 엽리상 화강암류의 지질시대와 생성과정에 관한 연구. 자원환경지질학회, 27, 247-261.  
 문용희, 최진범, 이병임 (2000) 리트벨트법에 의한 합성인회석 내의 희토류 원소의 거동에 관한 연구. 한국광물학회지, 13, 221-230.  
 문용희, 최진범, 이병임 (2001) 합성 페롭스카이트형 ( $K_xLa_2Ti_nO_{2n+4}$ ) 광물의 결정학 및 층상구조에 관한 연구. 한국광물학회지, 14, 73-84.  
 박계현, 이훈선, 송용선, 정창식 (2006) 영남육괴 함양, 거창 및 영주 화강암-화강섬록암의 스킨 U-Pb 연대. 암석학회지, 15, 39-48.  
 박천영, 박영석, 신인현, 정연중, Lizumi, S. (1998) 형광 X-선 분석장치를 이용한 화성암류 중의 주성분원소 정량분석. 한국지구과학회지, 19, 182-193.  
 사공희, 좌용주 (1997) 청산 일대에 분포하는 화강암류의 광물조성과 주성분원소 지구화학. 암석학회지, 6, 185-209.  
 이상만, 나기창, 이상현, 박배영, 이상원 (1981) 소백산육괴(남동부)의 변성암복합체에 대한 변성작용에 관한 연구. 지질학회지, 17, 169-188.  
 좌용주, 최진범, 조현구, 김순오, 권성택 (2006) 거창화강석 특화육성 품질기준 설정(결과보고서). 거창군, 301p.  
 최진범, 김태현 (2001) 리트벨트법을 이용한 K-Ba 치환 합성 홀란다이트( $K_{2x}Ba_{1-x}Cr_2Ti_6O_{16}$ )의 결정구조 연구. 한국광물학회지, 14, 128-136.  
 최진범, Grover, J. (2006) Mn-전기석(Tsilaisite)의 합성 및 리트벨트 구조분석. 한국광물학회지, 19, 15-29.  
 Barker, F. (1979) Trondhjemite: Definition, environment and hypotheses of origin. In: Barker, F. (ed.), Trondhjemite, Dacites and Related Rocks. Elsevier, Amsterdam, 1-12.  
 Bish, D.L. and Howard, S.A. (1988) Quantitative phase analysis using the Rietveld method. J. Appl. Cryst., 21, 86-91.  
 Bish, D.L. and Post, J.E. (1988) Quantitative analysis of geological materials using X-ray powder diffraction data and the Rietveld refinement method. Geol. Soc. Am. Abstr. Programs, 20, A223.  
 Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H. and Choi, D.K. (2000) Tectonic and sedimentary evolution of the

- Korean peninsula: a review and new view. *Earth Sci. Rev.*, 52, 175-235.
- Davis, B.L. and Walawender, M.J. (1982) Quantitative mineralogical analysis of granitoid rocks: a comparison of X-ray and optical techniques. *Am. Mineral.*, 67, 1135-1143.
- Hill, R.J. and Howard, C.J. (1987) Quantitative phase analysis from neutron powder diffraction data using the Rietveld method. *J. Appl. Cryst.*, 20, 467-474.
- Lee, C.L., Lee, Y.J. and Hayashi, M. (1992) Petrology of Jurassic granitoids in the Hamyang-Geochang Area, Korea. *J. Korea Inst. Min. Geol.*, 25, 447-461.
- Monecke, T., Köhler, S., Kleeberg, R. and Herzig, P.M. (2001) Quantitative phase-analysis by the Rietveld method using X-ray powder-diffraction data: application to the study of alteration halos associated with volcanic-rock-hosted massive sulfide deposits. *Can. Mineral.*, 39, 1617-1633.
- Rietveld, H.M. (1969) A profile refinement method for nuclear and magnetic structure. *J. Appl. Crystal.*, 2, 65-71.
- Snyder, R.L. and Bish, D.L. (1989) Quantitative analysis. In: Bish, D.L. and Post, J.E. (eds.), *Modern Powder Diffraction, Reviews in Mineralogy*, Vol. 20, Mineral. Soc. America, 101-144.
- Weidler, P.G., Luster, J., Schneider, J.S., Sticher, H. and Gehring, A.U. (1998) The Rietveld method applied to the quantitative mineralogical and chemical analysis of a ferralitic soil. *European J. Soil Sci.*, 49, 95-105.
- Yanai, S., Park, B.S. and Otoh, S. (1985) The Honam shear zone (S. Korea): Deformation and tectonic implication in the Far Eastern Science Paper. College of Arts and Science University of Tokyo, 35, 181-210.
- Young, R.A. (1993) *The Rietveld Method*. IUCr. Monogr. on Crystal. Vol. 5, IUCr., Oxford, 298p.
- 
- 2006년 12월 8일 원고접수, 2006년 12월 18일 게재승인.