

충남 금산지역 유라기화강암의 지구 화학적 특성

홍세선¹⁾ · 홍영국²⁾

1. 서론

금산지역은 옥천층군 중심부에 위치하고 있으며 금산화강암체로 명명된 저반형의 화강암 두 암체가 북동부에서 남서부 방향으로 넓게 관입 분포하고 있다. 이 화강암체에 대하여 금산도폭, 무주도폭등에서는 흑운모화강암과 반상흑운모화강암으로 구분하였으며, 진호일의 (1995)는 등립 우백질화강암, 반상 흑운모화강암, 반상 홍색장석화강암, 세리에이트 우백질화강암, 세리에이트 홍색장석화강암, 등립 알칼리장석 화강암, 등립 홍색장석화강암, 미아롤리틱 홍색장석화강암, 등립 흑운모화강암 등 9가지로 구분하였다. 그러나 이러한 분류 중 홍색장석화강암류, 알칼리장석 화강암류등은 대부분 백악기 화강암류에 속하며 우백질화강암 흑운모화강암류는 대부분 유라기 화강암류에 속한다. 이 연구의 주 대상암체는 유라기 화강암체이며 암질, 광물조성등의 야외적 특성에 따라 담회색 흑운모화강암과 담회색 반상흑운모화강암의 두 타입으로 구분하였다.

이번 연구에서는 금산 화강암체의 지하 저장소로서의 타당성을 파악하는 초기단계의 연구로서 암석학적, 지구화화적인 측면에서 조사 분석하여 이 지역에 산출되는 화강암체의 지구 화학적 특징과 상호관련성을 규명하고자 한다.

2. 화강암의 암석기재

이 연구를 위하여 신선한 암석시료는 주로 도로변의 암반과 하천변에서 채취된 화강암들이며 총 40여개의 시료를 채취하였다. 시료 채취시에는 암반에서 휴대용 대자율측정기 (SM 30)를 이용하여 대자율을 측정하여 암상간의 차이, 변질에 의한 영향등을 파악하였다.

금산화강암은 야외에서의 산출상태, 조암광물조성 등에 의해 크게 흑운모화강암과 반상흑운모화강암으로 대별될 수 있다.

흑운모화강암은 금산을 중심으로 남북의 방향성으로 보이면서 주로 분포한다. 또한 옥천을 중심으로 암주상의 암체로서도 분포하며 옥천도폭에서는 옥천흑운모화강암으로 명명되어 있기도 한다. 이 암체는 금산 북쪽 지역에서 K-Ar 흑운모 연대가 약 122 Ma, 금산 동쪽과 서쪽에서 K-Ar 흑운모, 피션트랙 연대가 각각 117 Ma, 109 Ma (진명식의, 1994)로 밝혀진 바 있다. 또한 옥천지역의 화강암 연대도 163 Ma (K-Ar 흑운모, 김옥준, 1971)의 관입연대를 보이고 있다. 옥천일대에서는 대체로 주변부는 신선한 암상을 이루나 내측으로 갈수록 풍화양상이 심화된 형태를 보이고 있다. 북서부의 서정리 일대에서는 1 cm 정도의 석영과 장석 반정을 보이기도 하며 북부의 수북리 일대의 화강암 경계부에서는 미약한 엽리구조가 발달하기도 한다.

이 흑운모화강암의 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 백운모, 인회석, 스펀, 저어콘, ±녹니석, ±녹염석, ±갈염석, ±불투명광물들이다. 석영은 파동소광 또는 줄무늬 소광을 보이며 간혹 미립의 석영이 집합되어 있기도 하다. 사장석은 대부분 알바이트 쌍정을 이루며 부분적으로 누대구조를 보이기도 한다. 또한 산점상으로 변질되어 있기도 한다. 알칼리장석은 주로 미사장석과 정장석이며, 옥천일대의 암체에서는 퍼사이트가 부분적으로 5 mm

내외의 반정으로서 산출되기도 한다 (윤현수의, 1999). 또한 암체 전반에 걸쳐 미르메카이트 조각이 발달되기도 한다. 흑운모는 갈색, 암갈색, 녹갈색등 다양한 다색성을 보이는 판상의 결정형태로 산출되며 쪼개짐면을 따라 부분적으로 녹니석화 되어 있기도 한다. 백운모는 대부분 사장석내의 산점상으로 또는 광물들간의 미립의 집합체로 산출되고 있어 변질 산물의 견운모로 판단된다. 스펀은 대부분 자형내지 반자형으로 소량 산출되며 인회석은 흑운모내에 미립으로 함유되기도 한다. 갈염석은 뚜렷한 자형을 이루며 연변부는 녹염석화 되어 있는 경우도 있다.

반상 흑운모화강암은 금산을 중심으로 주로 북동부 일대에 분포하고 있다. 반정은 대부분 직사각형 형태의 자형의 알칼리 장석으로 직경은 2 cm 내외이다. 이 반상 흑운모화강암에 대해서는 피션트랙 방법으로 스펀의 연대가 104 Ma 로 측정된 바 있다 (진명식외, 1994). 이 반상 흑운모화강암은 IUGS 분류상 몬조내지 섬장화강암의 영역에 해당하며, 주성분 광물로는 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 퍼사이트, 흑운모, 백운모 등이 산출되고 부성분 광물로는 녹염석, 인회석, 갈염석, 녹니석, 불투명광물 등이 산출되어 흑운모화강암과 광물조성상의 차이점의 거의 없는 편이다. 알칼리장석은 퍼사이트에 비해 미사장석이 우세하게 산출된다.

3. 암석 지화학

금산화강암체는 SiO₂가 62~72 wt.% 내외로서 비교적 넓은 범위의 값을 가진다. SiO₂에 대한 주원소 산화물의 관계도 (Fig.1)에서 보면 금산화강암은 단일 마그마의 분화경향을 뚜렷히 가진다. SiO₂ 함량증가에 따라 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, MnO, CaO, P₂O₅는 뚜렷한 부의 상관관계를 나타내며, K₂O와 Na₂O + K₂O는 뚜렷한 정의 관계를 나타내며 Na₂O는 거의 변화가 없다. Irving and Baragar (1971)에 의한 (Na₂O + K₂O) 대 SiO₂의 관계도에서 보면 흑운모화강암과 반상 흑운모화강암 모두 서브알칼리 계열에 속하며 FeO/(FeO + MgO) 대 SiO₂와 AFM 삼각도에서 보면 켈크 알칼리 계열의 뚜렷한 분화경향을 나타낸다.

Ba은 전반적으로 200~1200 ppm의 넓은 함량범위를 보이거나 SiO₂의 함량 변화에 따른 Ba의 변화 경향은 그다지 뚜렷하지 않다. Ba (이온크기 : 1.36Å, Mason and Moore, 1982)은 주로 K (이온크기 : 1.38Å)와 치환된다. 그러므로 Ba은 주로 K-장석 (Kd^{Ba} = 5, Arth, 1976)과 흑운모 (Kd^{Ba} = 8, Arth, 1976)에 분배되므로 분화가 진행함에 따라 Ba이 급격히 감소한다면 이들 광물들의 분별작용이 심했음을 시사한다. 그러나 주성분원소인 K₂O는 증가하는 변화경향을 보이기는 하지만 Ba은 분산되어 나타나고 있다.

Sr은 30~600 ppm의 함량변화를 보이며 SiO₂의 함량증가에 따른 뚜렷한 부의 상관관계를 나타내고 있다. 또한 Sr의 변화도에서 보면 흑운모화강암과 반상 흑운모화강암 사이에는 약간의 서로 다른 변화경향을 보이기도 한다. 사장석에서의 Sr 분배계수는 4.4 (Arth, 1976), K-장석에서의 Sr 분배계수는 3.9 (Arth, 1976)로서 두 광물 모두 Sr의 분별작용에 관여하였을 것으로 생각된다.

Rb은 75~190 ppm의 범위를 보이며 대부분 100~150 ppm 사이에 주로 집중된다. 이러한 경향은 납원화강암체에서의 Rb 함량변화 경향과 매우 유사하다. SiO₂ 증가에 따라 Rb의 변화 역시 대체로 증가하는 경향을 나타낸다. Rb은 주로 K를 함유하는 광물에 분배된다. 금산화강암체에서 Rb를 함유하는 광물은 K-장석 (Kd^{Rb} = 1.75, Nash and Crecraft, 1985)과 운모류 (Kd^{Rb} = 2.2, Arth, 1976)이다. Rb의 변화경향 역시 K₂O와 유사하다. 그러므로 Rb의 변화는 결정작용의 과정으로 설명할 수 있다. 마그마 내에 Rb의 양은 충분하여 Rb을 많이

함유하는 K-장석이나 운모류가 계속 정출되어도 마그마 내에서 Rb의 결핍이 일어나지 않았을 것이며, 그러므로 결정작용이 진행됨에 따라 K를 함유하는 광물들이 점점 더 정출되므로 Rb은 계속 증가할 수 있다.

Zr은 약 100~600 ppm의 비교적 넓은 범위의 함량 범위를 보이며 SiO₂가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 이는 Zr을 함유하는 광물 (주로 저어콘)의 분별작용이 진행되었음을 의미한다.

Y와 Nb는 각각 3~16 ppm, 10~50 ppm의 함량을 가지며 SiO₂의 증가에 따라 대체로 부의 경향을 보이나 Y보다 Nb의 변화경향이 더 심하다. 이러한 감소하는 경향은 각섬석 ($Kd^Y = 6$, $Kd^{Nb} = 4$, Arth, 1976), 흑운모 ($Kd^{Nb} = 6.4$, $Kd^Y = 1.2$, Nash and Crecraft, 1985), 스펀 ($Kd^{Nb} = 6.3$, Green and Pearson, 1987)과 인회석 ($Kd^Y = 40$, Arth, 1976)의 분별작용과 관계있었을 것이며 서로 다른 분별정도의 차이가 있었을 것이다.

5. 성인 및 지구조 생성환경

금산화강암체의 알루미늄 포화지수 (ASI : alumina saturation index, mol Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O)는 대부분 ~1.2이내의 값을 보이며 또한 금산화강암체에서 분석된 시료의 50% 정도가 알루미늄 포화지수가 1~1.1의 Zen (1986)에 의한 mildly peraluminous한 화강암에 속한다. 일반적으로 약간 고알루미나질 화강암의 기원은 저알루미나질 (subaluminous) 마그마 (ASI<1)의 분별결정작용에 의한 것이다 (Zen, 1986). ACF삼각도 (Al₂O₃-Na₂O-K₂O : CaO : FeO+MgO, Fig.5)에서 보면 금산화강암체는 I-형과 S-형의 영역에 도시되며 알루미늄 포화지수와 SiO₂의 그림에서 보면 Chappell and White (1974)가 제안한 I-형과 S-형의 구분 기준인 ASI = 1.1 내외의 I-형과 S-형에 들다 도시된다.

화성암내에 가장 함량이 많은 장석류는 풍화작용을 받으면 대부분 점토광물화 한다. 이 과정에서 K는 점토광물의 격자안으로 들어가지만 Na나 Ca등은 해수나 탄산염암, 증발암등에 포함된다. 그러므로 퇴적암의 부분용융으로 생성되는 S형 마그마는 I형 마그마보다 Na와 Ca의 함량이 낮아지게 된다 (White and Chappell, 1983). 그래서 Chappell and White (1974)은 Na₂O 함량 3.2 wt.%를 기준으로 I형과 S형을 구분하였다. 금산화강암체의 Na₂O 함량은 대부분 3~4 wt.%로 변화의 폭이 좁은 반면 K₂O 함량은 2~5 wt.%에 대부분 포함된다.

Y + Nb와 Rb의 그림에서 금산화강암체는 VAG에 속하는데 WPG영역의 경계부근에 도 도시된다. Y와 Nb의 그림에서는 VAG + syn-COLG의 영역에 도시된다. 엄격히 말해서 판별그림에서 보여지는 영역은 화강암 형성 당시의 지구조환경이라기 보다는 근원지의 환경을 반영한다고 할 수 있다. syn-COLG, VAG, 정상적인 ORG와 WPG에 있어서 근원지와 지구조환경은 보통 일치하는 경향을 보이지만 정확한 지구조환경에 따라 post-COLG는 syn-COLG, VAG와 WPG영역에 속하기도 하며 ORG는 VAG나 ORG에 도시되기도 한다.

결언

금산화강암은 야외에서의 산출상태, 조암광물조성 등에 의해 크게 흑운모화강암과 반상 흑운모화강암으로 대별될 수 있다. 흑운모화강암은 금산을 중심으로 남북의 방향성으로 보이면서 주로 분포하며 반상 흑운모화강암은 금산을 중심으로 주로 북동부 일대에 분포하고 있다. 금산화강암체는 SiO₂가 62~72 wt.% 내외로서 비교적 넓은 범위의 값을 가진다. SiO₂

에 대한 주원소 산화물의 관계도에서 보면 금산화강암은 단일 마그마의 분화경향을 뚜렷히 가진다. Irving and Baragar (1971)에 의한 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 대 SiO_2 의 관계도에 따르면 흑운모화강암과 반상 흑운모화강암 모두 서브알칼리 계열에 속하며 $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ 대 SiO_2 , AFM 삼각도에서 보면 켈크 알칼리 계열의 뚜렷한 분화경향을 나타낸다. 금산화강암체의 알루미늄나 포화지수는 대부분 ~ 1.2 이내의 값을 보이며 ACF삼각도에서 보면 금산화강암체는 I-형과 S-형의 영역에 도시되며 알루미늄나 포화지수와 SiO_2 의 그림에서 보면 Chappell and White (1974)가 제안한 I-형과 S-형의 구분 기준인 $\text{ASI} = 1.1$ 내외의 I-형과 S-형에 둘 다 도시된다.

참고문헌

- 김옥준, 1971, 한국의 신기 화강암류의 관입시기와 지각변동. 광산지질. 제4권. p.1~9.
- 윤현수, 김대업, 박석환, 1999, 옥천 화강암의 지구화학적 특성. 한국암석학회지. 제8권, 제2호. p.81~91.
- 진명식, 신성천, 김성재, 주승환, 지세정, 1994, 옥천습곡대 중서부 지역 화강암과 반심성암의 동위원소 연대와 화성 활동사. 동위원소지질연구. KR-93-1G-2. 한국자원연구소. 54p.
- 진호일, 민경원, 전효택, 박영석, 1995, 금산지역에 분포하는 화강암류의 암석지구화학. 자원환경지질학회지. 제28권, 제2호, p.123~137.
- Arth, J.G., 1976, Behavior of trace elements during magmatic processes : a summary of theoretical models and their applications. Jour.Res.U.S.Geol. Surv. 4, 41~47.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. Pacific Geol. 8. 173~174.
- Irving, T.N. and Baragar, W.R.B., 1971, A guide to chemical classification of the common igneous rocks. Can.Jour.Earth Sci. 8. 523~548.
- Mahood, G. and Hildreth, W., 1983, Large partition coefficients for trace elements in high-silica rhyolites. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 11~30.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, Principles of Geochemistry. 344p.
- Nash. W.P. and Crecraft, H.R., 1985, Partition coefficients for trace elements in silicic magmas. Geochim. Cosmochim. Acta. 49, 2309~2322.
- Pearce J.A., Harris N.B.W. and Tindle A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Jour. Petrol. 25, 956~983.
- Streckeisen, A., 1976, To each pluton rocks its proper name. Earth Sci.Rev. 12. 1~33.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. and Chappell, B.W., 1987, A-type granite: Geochemical characteristics, discrimination and paragenesis. Contrib. Mineral. Petrol. 95, 281~296.
- Zen, E.A., 1986, Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: some mineralogic and petrographic constraints. Jour. Petrol. 27. 1095~1117.

주요어 : 금산화강암, 흑운모화강암, 반상 흑운모화강암

1) 한국지질자원연구원 지질연구부(hss@kigam.re.kr)

2) 한국지질자원연구원 환경지질연구부(ykhong@kigam.re.kr)