

삼척지역 이천화강편마암의 암석화학과 지질구조

정원석¹ · 정상원² · 나기창^{1,*}

¹충북대학교 자연과학대학 지구환경과학과, ²충북대학교 사범대학 과학교육과

Petrochemistry and Geologic Structure of Icheon Granitic Gneiss around Samcheog Area, Korea

Won Seok Cheong¹, Sang Won Cheong² and Ki Chang Na^{1,*}

¹Department of Earth & Environmental Sciences, College of natural Science, Chungbuk National University, 48 Gaesin-dong, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

²Department of Sciences Education, College of Education, Chungbuk National University, 48 Gaesin-dong, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

요약: 영남육괴 북동부에 위치하는 삼척시 남부의 영남육괴 변성암류 중에서 흑운모화강편마암(이천화강편마암)에 관하여 암석화학적 연구를 수행하였다. 이 지역은 호산리 편암 및 편마암류, 이천 화강편마암, 우백질 화강암, 홍제사 화강암, 캄브리아기 퇴적암류, 백악기 퇴적암류 및 산성화산암류로 구성되어 있다. 호산리층은 주로 석영 + K-장석 + 사장석 + 흑운모 + 백운모 + 석류석 ± 근청석 ± 규선석으로 구성되어 있다. 이천 화강편마암은 호산리층과 유사한 광물조합을 나타내며 엽리의 발달이 미약한 괴상의 화강섬록암질 암체이다. 이러한 광물조성에 따라 이 지역은 크게 석류석대와 규선석대로 나눌 수 있다. 이천리 지역의 이천 화강편마암과 우백질화강암의 주원소, 미량원소 및 희토류 원소 분석결과는 호산리층이 기원암임을 지시하는 이질기원암의 심용작용에 의해서 형성된 것으로 나타난다. CaO 및 Al₂O₃의 경향성과 Rb, Sr, Ba과 같은 미량원소는 마그마 형성 이후에 사장석의 분별정출 작용이 일어났음을 지시한다. 화강암질 암의 형성 환경은 전반적으로 충돌대와 관련된 환경을 지시하여 인근지역의 화강암질암의 생성환경과 일치한다. 전반적인 단층은 N54° W/77° SW, N49° W/81° NE, N10° W/38° NE 방향의 단층이 현저하다. 단층의 전단감각 및 지형적 형태로 미루어 볼 때, 이 지역은 용기와 횡압력을 동시에 받은 것으로 추측된다. 단층 형성연대는 이 지역에 분포하는 암맥류를 단절하는 재활성 절리로 볼 때 제3기 이후일 것으로 보인다. 호산리층과 이천화강편마암 엽리의 최대 집중균은 각각 N89° E/55° SE과 N80° E/45° SE로 나타나 유사한 변형작용을 받았을 것으로 추정된다.

핵심어: 영남육괴, 화강암질암, 기원암, 단층, 엽리

Abstract: Metamorphic rocks of Samcheog area, northeastern Yeongnam massif, was studied petrochemically. This area includes Precambrian Hosanri Formation (schists and gneisses) and granitoid (Icheon granitic gneiss, leucocratic granite and Hongjesa granite), Cambrian sedimentary rocks, and Cretaceous sedimentary and acidic volcanic rocks. Hosanri formation is composed of quartz + plagioclase + K-feldspar + biotite + muscovite + granet ± cordierite ± sillimanite. Mineral assemblage of biotite granitic gneiss, which is massive granodioritic rock with weak foliation, is similar to Hosanri formation. According to mineral assemblages, metamorphic rocks of studied area can be divided into two metamorphic zones (garnet and sillimanite zones). From Icheonri area, major, trace and rare earth element data of biotite granitic gneiss and leucocratic granite suggest that source rock is pelitic rocks of Hosanri formation and source magma was formed by anatexis and experienced fractionation of plagioclase. Trace element diagram show collisional environment such as syn-collisional, volcanic arc granite. Orientation of faults in study area have three maximum concentrations, N54° W/77° SW, N49° W/81° NE and N10° W/38° NE. Structure analysis suggests that faults in study area were formed by uplift and compression. Faulting age is guessed after Tertiary because some shear joints is developed in dikes to intrusive Cretaceous acidic volcanic rock.

*Corresponding author: Tel. 011-464-2731, E-mail. petrona@chungbuk.ac.kr

Hosanri formation and Icheon granitic gneiss had experienced similar deformation history because they have maximum concentration to foliations, N89° E/55° SE and N80° E/45° SE, respectively.

Key words: Yeongnam massif, granitoid, source rock, fault, foliation

서 론

상부지각의 화학적인 분화는 큰 범위로 볼 경우 변성퇴적암류의 부분용융과 관계가 깊다. 이러한 부분용융의 결과는 과알루미늄질 마그마를 산출하고 우백질 화강암류와 페그마타이트를 산출한다. 특히 과알루미늄 우백질 화강암의 마그마화 작용은 일반적으로 대륙지각의 충돌과 연관된다(Le Fort *et al.*, 1987). 이러한 화성암류의 기원과 생성환경, 진화과정은 지구화학적 연구가 많은 도움을 준다는 것은 새삼 강조할 필요도 없다. 영남육괴의 북동부에 분포하는 다양한 변성암류에 대해서 최근 많은 연구가 이루어져 왔다(김형수와 이종혁, 1995; 이상현, 1994; Arakawa *et al.*, 2003; Cheong *et al.*, 2000; Chang *et al.*, 2003; Kim and Cho, 2003; Kwon *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2005). 최근 연구들은 대체로 지구화학적 분석은 물론이고 동위원소적인 분석을 강조하여 한반도와 중국 대륙 사이의 지질학적 관계를 정립하려고 노력하는 추세이다. 이러한 다양한 연구에도 불구하고 삼척시 남부에 분포하는 영남육괴 변성암류에 대해서 일부 암석학적 연구(김용준 외, 1984; Lee *et al.*, 1986)가 있으나 충분한 연구가 이루어지지 않았다. 특히 이천화강편마암으로 불리는 암체에 대해서는 아직 연구가 없는 실정이다.

그런 까닭에 본 연구는 삼척시 남부지역에 대해서 일반적인 지질조사를 수행하였다. 우선 이 일대의 기본적인 암상분포와 지질 구조에 대해서 조사했다. 그리고 현재까지 수집한 변성암류 시료의 구성광물을 조사하였고 그에 따른 대략적인 변성분대를 나누었다. 호산리층과 이천화강편마암의 좀 더 세밀한 상호 관계를 파악하기 위해서 이 지역의 중심부에 해당하는 이천리 지역의 화강암질암에 대한 세부 지질구조 및 지구화학 분석을 수행하였다. 특히 주 원소 및 미량 원소 분석 결과는 이천화강편마암의 기원을 파악하기 위해 주변 지역 호산리층에서 산출한 원소 분석결과(Lee *et al.*, 1986; 정창식 외, 2004)와 비교하였고 형성환경에 대해서도 논의한다.

지질 개요

삼척시 남부는 영남 육괴의 북서부 지역에 해당하는 곳으로 선캠브리아 변성퇴적암류와 화성암류가 주를 이룬다. 이러한 변성암류는 북서부와 남부 일대에서 고생대 조선누층군과 부정합 관계를 이루며, 남부는 백악기 화산암류 및 화산 쇄설성 퇴적암류가 피복하고 있다(Fig 1).

이 지역의 최 고기암체인 선캠브리아 호산리층은 사질 및 이질의 편암내지 미그마타이트질 편마암으로 구성되어 있다. 장성도폭(윤석규, 1967)과 중첩되는 조사 지역의 서남부에서는 이 암체를 울리층군으로 구분하였다(김용준과 이대성, 1983). 이러한 분류체계는 타 연구(김정찬 외, 2001)에서도 적용되어 호산리층이 울리층군에 속하는 것으로 기재하였다. 그러나 정창식 외(2004)는 호산리층을 관입한 분천화강편마암의 정치시기(박계현 외, 1993)등을 근거로 이를 원남층군으로 분류하는 것이 타당하다고 보았다. 또한 호산리층의 퇴적 및 변성시기를 결정맨틀 Nd 모델연대를 이용하여 원생대 초로 추정하였다. 이들은 남부에서 고생대 지층 및 백악기 산성화산암류와 부정합 관계를 이루며 북부에서 화강암체들과 점이적인 접촉 관계를 보여준다. 하부층을 구성하는 편암류는 석영운모편암내지 운모편암이고 상부층을 구성하는 미그마타이트질암은 편마암 내지 호상편마암으로 구성된다(김용준과 이대성, 1983). 편암과 미그마타이트 사이의 경계는 점이적인데 암체의 남부는 주로 편암이 북부에는 미그마타이트가 주로 분포한다. 편암류는 주로 엽상 및 침상 광물이 풍부한 이질암과 석영이 풍부한 사질암으로 구분되며 화강편마암과 우백질 화강암의 포획암으로도 다수 나타난다. 일부 지역에서는 미그마타이트의 우백대와 우백질화강암이 연관성이 있을 것으로 보이는 조화적인 구조가 나타나기도 한다.

흑운모 화강편마암(이천 화강편마암)은 원덕읍 이천리 일대가 표식지이며 조사지역의 중앙부와 북서부에 넓게 자리잡고 있다. 본 암체는 미그마타이트질 편마암체 내의 부분적인 화강암화작용에 의해 형성된 괴상

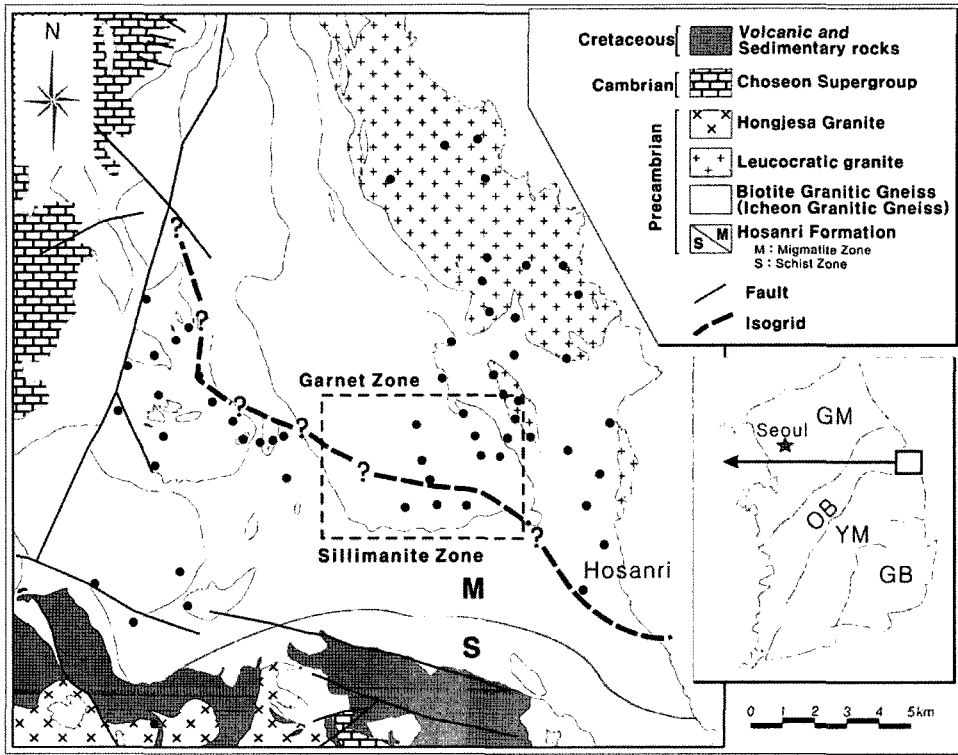


Fig. 1. Geologic map around the southern Samcheog city. Back (Black) dots are sampling locations. Dotted rectangle is location of detailed survey area. Abbreviation of index map: Gyeonggi Massif (GM), Ogcheon fold Belt (OB), Yeongnam Massif (YM), Gyeongsang Basin (GB).

의 화강암질암(Lee *et al.*, 1986) 또는 화강암질 편마암(원종관 외, 1994)이다. 이종혁 외(1993)는 이 암체를 이천화강편마암으로 기재하여 미그마타이트질암인 호산리층과 구분하고 퇴적기원과 화성기원의 변성암이 공존하는 것으로 추정하였다. 암체 내에는 엽리가 발달한 다양한 크기의 편암내지 편마암류가 포획암으로 존재하며, 포획암의 영향으로 추정되는 실리렌(schlieren)이 관찰된다. 또한 유색광물의 함량이 높아 전반적으로 암석이 어두운 색이기도 하나 곳에 따라서는 밝은 색을 띠기도 한다. 본 암은 중립 내지 조립의 등립상 조직이며 엽리의 발달이 미약한 편이다. 암체의 곳곳에는 후에 관입한 페그마타이트들이 다수 관찰되며 이는 모두 거정의 전기석과 희색 K-장석을 포함하고 있는 것이 특징이다. 이 암석의 연령은 U/Pb 저어콘 연대 측정결과 2,357±43 및 2,342±47 Ma이다(Chang *et al.*, 2003).

우백질 화강암은 백색의 괴상 화강암이 주를 이루며 조사지역의 북동부에 주로 분포한다. 암체내의 주된 특징인 거정의 석류석 반정은 우백질 화강암체의 중심부

로 갈수록 입자의 크기가 중-조립으로 변하면서 석류석 반정의 수가 감소하는 반면, 연변부로 갈수록 세립으로 변하면서 석류석 반정의 수가 증가하는 양상을 보여준다. 이는 편암류의 동화작용 중에 발생한 것으로 보고 있다(Lee *et al.*, 1986). 또한 편암류의 포획암이 포함되지 않는 곳과 비교할 때 포획암을 포함하는 부분에서는 이들이 잔존물로 추정되는 흑운모에 의해 비교적 뚜렷한 엽리가 관찰되기도 한다. 이 암체의 절대연령은 Rb/Sr 전암법으로 2,088±9 Ma(김용준 외, 1984)와 2,089±9 Ma(주승환과 김성재, 1985)이다. U/Pb 저어콘 연대로는 1,826±20 Ma이다(Chang *et al.*, 2003).

암석 기재

삼척시 남부 일대의 종합적인 암석학적 연구를 수행하기 위한 예비조사로서 이 지역에서 총 60개소 80여 개의 시료를 채취하여 박편을 제작하여 구성광물 조사를 수행하였다(Fig. 1).

호산리층은 석영+사장석+K-장석+흑운모±백운모±

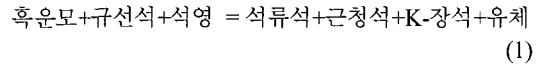
규선석±근청석±석류석으로 구성된다. 사질암에서는 백운모, 규선석, 근청석의 산출이 적은 반면 이질암류에서는 이러한 광물들의 산출이 풍부한 편이다. 미그마타이트대의 우흑대는 주로 흑운모와 규선석이 혼재되어 나타나는 양상을 보여주며 근청석과 석류석이 변정으로 산출된다. 사장석은 마이클-레비법(Michel-Levy method)으로 올리고클레이스로 판단된다. 암석 종류에 관계없이 흑운모의 선택 방향에 의해 엽리가 형성되며 일부 암석에서는 흑운모+규선석의 광물조합이 엽리방향성을 결정하기도 한다. 규선석은 대체로 섬유상으로 나며 간혹 주상으로도 나타나기도 한다. 근청석은 장석류와 비슷한 크기인 2 mm 이내의 결정으로 산출되며 규선석, 흑운모, 석영, 미상의 불투명광물의 포유물을 갖는다. 일부 포획암류에서는 석류석 포유물이 관찰되기도 한다. 또한 일부 시료에서는 모두 피나이트(pinite)로 변환 모습도 관찰된다. 일부 백운모는 후퇴변성과정 중에 생성되었을 것으로 추정되며 일부 시료에서는 페피돌라이트(lepidolite)로 관찰된다. 화강암류의 포획암을 포함한 호산리층 암석은 대체로 북동부에서는 석류석+규선석±근청석이 우세한 반면 서남부에서는 규선석+근청석이 우세하다.

이천 화강편마암체는 크게 남부, 서부 및 동부 암체로 구분할 수 있다. 이들의 광물 조성은 호산리층의 것과 동일하나 입자 크기가 호산리층에 비해서 크고 엽리의 방향성이 거의 관찰되지 않는다. 아직 많은 시료를 채취하여 조사하지는 못하였으나 동부 암체에서는 대체로 석영+사장석+K-장석+흑운모를 기본으로 하여 석류석+근청석±규선석이 우세한 반면 서부 암체에서는 근청석±규선석이 우세하다.

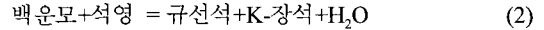
우백질 화강암은 주로 석영+K-장석+사장석±백운모±규선석±석류석으로 구성된다. 이러한 주구성 광물 이외에도 간혹 흑운모와 근청석, 규선석들이 산출된다. 특히 흑운모가 산출하는 시료에서만 근청석이 나타나는 특징을 보여준다. 석류석은 호산리층의 접촉부에서 특징적인 변정을 이루는 것으로 보아 접촉 반응 산물로 판단된다.

아직 전체 영역에 대한 암석 시료를 준비하지 못한 관계로 정확한 등변성도선을 기입하는 데는 무리가 있다. 하지만 이천 화강편마암과 호산리층이 비슷한 광물 조성을 보이고 이천 화강편마암의 기원암이 호산리층이라는 가정 하에 삼척시 남부 일대의 변성암은 개략적으로 석류석대와 규선석대로 양분할 수 있다(Fig. 1).

호산리층과 이천 화강편마암에서의 석류석의 광물 조성과 산출 조직은 기본적으로 다음과 같은 반응식을 가능하게 한다.



또한 흑운모, 근청석, 석류석이 산출 안하는 우백질 화강암체에서 나타나는 규선석의 산출은 다음과 같은 반응식으로 표현될 수 있다.



위와 같은 반응식은 모두 최고 변성작용이 대략 2 kbar, 600°C 이상에서 발생했음을 지시한다. 따라서 이 지역에 각섬암상 이상의 고온/저압 광역변성작용이 발생했음을 알 수 있다. 이런 개괄적인 조사는 이전의 연구결과(Lee et al., 1986)와 잘 일치한다. 이 지역의 호산리층과 유사한 광물 조성과 조직을 보여주는 인근지역(Kim and Cho, 2003)의 변성퇴적암류에서는 최대 변성작용을 백립암상에 해당하는 것으로 판별하였다.

추후 좀더 많은 시료를 관찰 및 분석하여 하여 좀더 자세한 변성대와 변성조건에 대해서 연구할 예정이다.

암석 화학

본 연구에서는 세부조사지역(Fig. 1의 중앙 사각형 부분)에 해당하는 원덕읍 이천리 일대에 분포하는 이천화강편마암 5개 시료와 우백질화강암 1개 시료에 대해 주원소 분석 및 미량원소 분석을 실시하였다. 선택 시료는 주 원소 분석은 서울대학교 기초과학공동기원의 X-선 형광 분석기(Shimadzu XRF-1700)를 이용하였다. 미량원소 분석을 위한 시료 전처리에는 서울대학교 기초과학공동기원에서 수행하였으며 분석에는 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS; ELAN6100, Perkin-Elmer SCIEX)를 이용하였다.

세부 조사지역은 원덕읍 이천리에 해당되며 주로 호산리층과 이천화강편마암으로 구성된다(Fig. 2). 우백질 화강암은 이천리 북서부에서 소규모 병반 형태로 산출된다. 또한 곳곳에 시대 미상의 염기성 내지 산성의 암맥이 관입하고 있다.

주원소 분석 결과

Table 1은 본 연구의 주 원소분석 결과와 이 지역 인근에서 조사된 호산리층의 원소 분석값(Lee et al., 1986; 정창석 외, 2004)의 평균값을 함께 나열하였다. 이에 의하면 이천 화강편마암은 59.6-63.6 wt.%로 비교적 좁은 범위에 한정된 SiO₂ 함량을 보여준다. 이에 비해 우백질 화강암은 높은 SiO₂ 함량과 낮은 MgO, Fe₂O₃, TiO₂ 값을 보여준다.

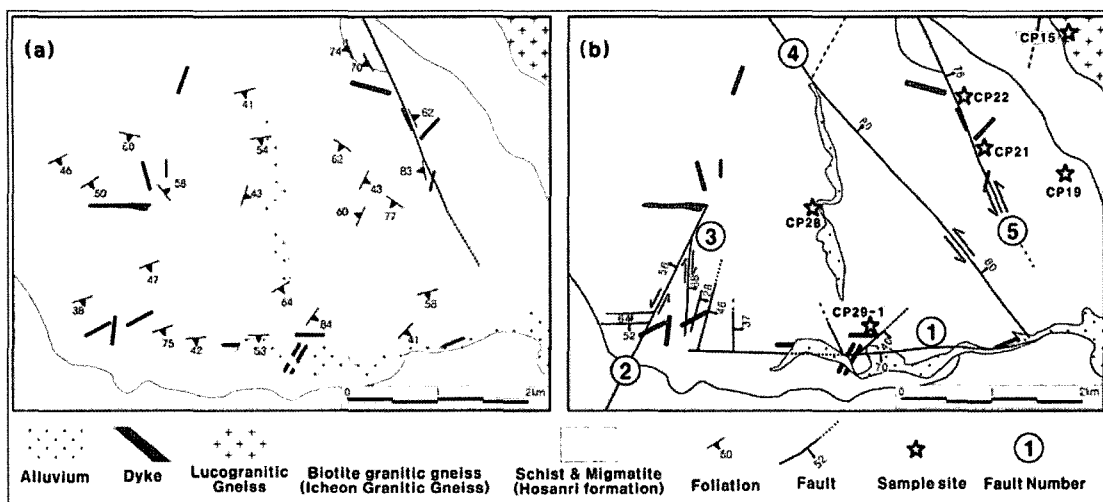


Fig. 2. Geological and structural map (a, foliations; b, faults) with location of analyzed samples on dotted rectangle area in Fig. 1.

해커 다이어그램(Harker diagram)에 도시하여 보면 이천 화강편마암은 대체로 명확한 분화양상을 보여주지는 않으나 Al_2O_3 및 CaO에서는 미약한 직선적인 성분변화를 보여준다(Fig. 3). 이천화강암 인근의 호산리층의 주원소 분석 결과와 비교해보면 이천화강편마암이 비교적 집중적인 값으로 나타는 반면에 호산리층은 넓은 범위의 값을 보여준다. 그러나 대부분의 원소에서 호산리층의 평균값이 이천 화강편마암 영역에 도시

된다. 이천 화강편마암과 우백질화강암 모두는 A/CNK ($Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$)은 1.54-4.15까지 폭넓게 나타나 과알루미늄(peraluminum) 및 S-형 화강암에 속한다(Fig. 4a). 각 원소의 몰값을 이용한 R1-R2 도표(Batchelor and Bowden, 1985)에 도시하여 보면 이천 화강암 편마암은 화강섬록암에, 우백질 화강암은 섬장화강암 영역에 도시되며 대륙 충돌 내지 충돌 후 환경을 지시한다(Fig. 4b).

Table 1. Chemical composition data for Precambrian granitoids in Icheonri area (this study) and average data for Hosanri Formation (Lee et al., 1986; Cheong et al., 2004).

	Leucogranitic Gneiss		Biotite Granitic Gneiss				Hosanri Formation
	CP15	CP19	CP21	CP22	CP28	CP29-1	
wt. %							
SiO ₂	74.25	59.56	60.22	62.75	63.62	62.41	63.12
Al ₂ O ₃	14.69	20.85	20.17	17.92	15.78	18.44	16.38
TiO ₂	0.04	0.39	0.79	0.53	0.71	0.39	0.60
Fe ₂ O ₃	0.25	7.09	8.33	6.28	6.56	4.77	6.34
MgO	0.08	3.43	2.99	2.25	2.43	2.22	3.43
CaO	0.74	0.28	0.40	2.27	3.00	0.49	3.31
Na ₂ O	3.83	0.86	0.80	2.35	2.57	1.18	1.86
K ₂ O	4.17	4.14	3.91	3.68	3.06	4.95	2.82
MnO	0.02	0.05	-	0.09	0.05	0.01	0.09
P ₂ O ₅	0.19	0.05	0.05	0.15	0.19	0.04	0.12
LOI	1.27	3.45	2.20	2.43	1.33	4.50	1.40
Total	99.51	100.14	99.87	100.69	99.299	9.389	9.44
A/NK	1.73	4.51	4.64	2.92	2.67	3.23	
A/CNK	1.54	4.15	4.10	1.91	1.55	2.88	

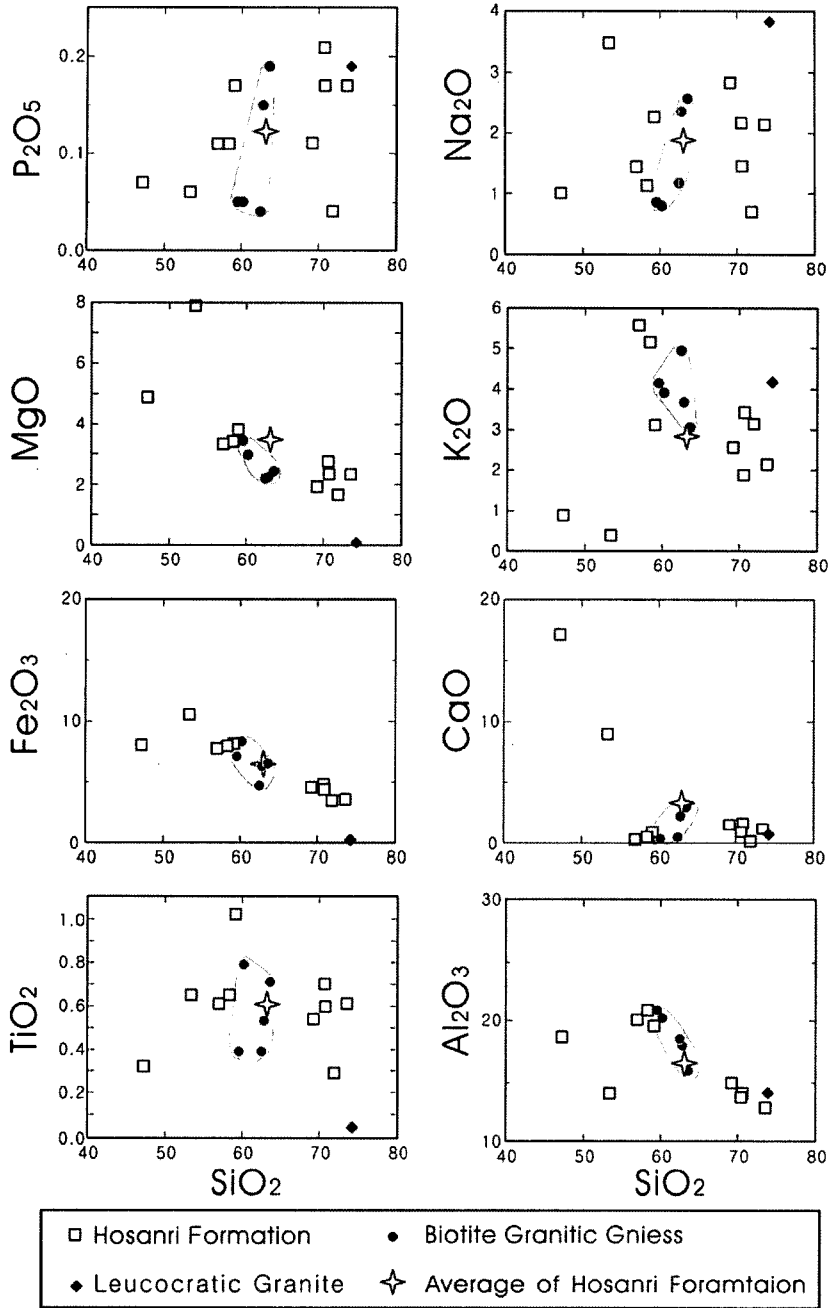


Fig. 3. Major element variation diagrams (wt.%).

미량원소 분석 결과 및 해석

미량원소는 화성암에서 생성환경 및 분화과정을 파악할 수 있는 중요한 지시자이다. 우백질 화강암과 이천 화강편마암의 미량원소 성분은 대체로 화강암의 평

균값(Rb, 220; Sr, 250; Y, 13; Nb, 24; Ba, 1,220 ppm; Mason and Moore, 1982) 보다 낮은 양상을 보여준다(Table 2). 또한 이천 화강편마암의 Rb 값은 정창식 외(2004)의 호산리층 산출 범위(22-470 ppm)내에

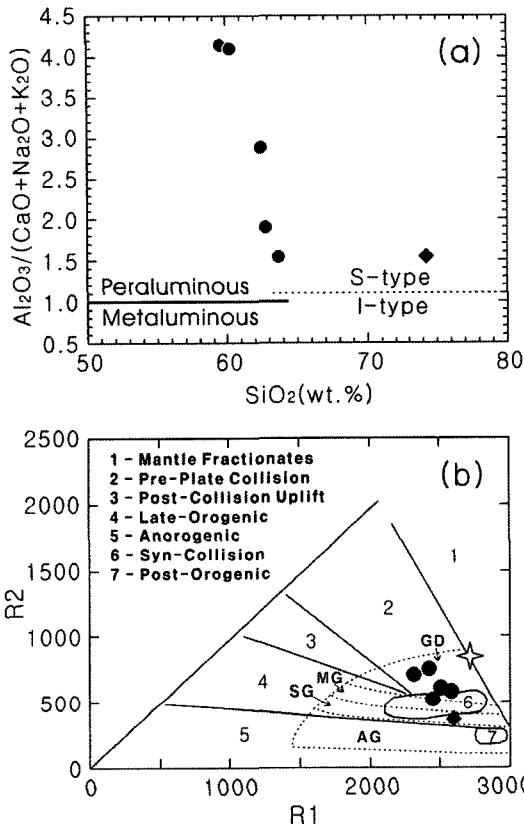


Fig. 4. (a) Classification of biotite granitic gneiss and leucocratic granite in molar ratio $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ vs SiO_2 diagram. The Subdivision between the fields of peraluminous and metaluminous granites is after Chappell and White (1974) while the field of I-type and S-type are after White and Chappell (1977). (b) R1 and R2 chemical parameters (Batchelor and Bowden, 1985). $R1 = 4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$. Abbreviations: granodiorite (GD), monzogranite (MG), syenogranite (SG) and alkali granite (AG). Symbols are the same as Fig. 3.

속하며 평균값도 비교적 잘 부합한다. 반면에 Sr은 호산리층의 산출범위(66-166 ppm)를 넘는 시료도 있으나 평균값은 이천 화강편마암 영역 내에 든다(Fig. 5).

Y, Rb, Nb, Yb 및 Ta는 화강암류의 생성환경을 지시하는 미량원소이다. 이 중 Ta는 기기 및 실험실의 환경으로 인하여 측정한계가 1 ppm으로 설정되어 CP28 시료를 제외한 나머지 시료에서 검출되지 않았다. 따라서 Y+Nb-Rb 및 Y-Nb 그래프(Pearce et al., 1984; Pearce, 1996)만을 이용하여 생성환경을 확인한 결과 이 지역의 화강암체는 모두 화산호 및 충돌대 화강암류 영역에 도시된다(Fig. 6).

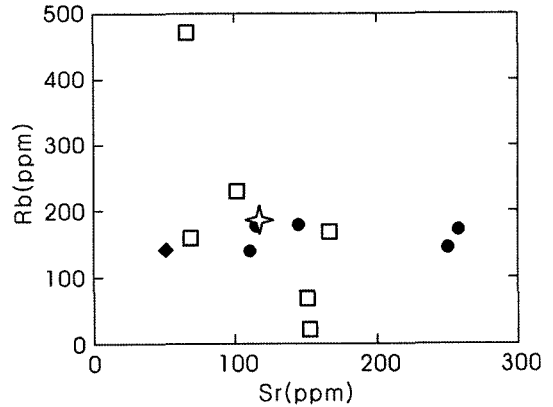


Fig. 5. Concentration diagram of Rb vs. Sr. Symbols are the same as Fig. 3.

희토류 원소의 분석

각 시료별 희토류 원소 분석 값은 Table 2에 자세하게 나열되어 있다. 희토류 원소는 우백질 화강암에 비해 이천 화강편마암이 상대적으로 높은 값을 나타낸다. 콘드라이트로 표준화한 도표(Fig. 7a)에서 이 두 암석 모두 높은 LREE 값과 낮은 HREE 값을 나타내는 뚜렷한 분화과정 양상을 보여준다. 또한 사장석 분별 정출과 관계가 깊은 뚜렷한 음의 Eu 이상치(Eu/Eu^* , 0.2-0.4)가 나타난다. LREE(La_N/Sm_N , 3.2-4.3)의 기울기는 HREE(Gd_N/Yb_N , 3.3-5.8)의 기울기와 거의 유사하나 일부 시료(CP29-1)에서는 HREE의 기울기가 매우 큰 경우도 있다. 이 시료는 상술한 등변성도선 남쪽에 위치고 석류석이 산출하지 않기 때문에 이러한 양상은 석류석의 산출과 관계가 있는 것으로 추정된다. 비교 대상인 호산리층에 대한 전반적인 희토류 원소 분석값이 없기 때문에 정창식 외(2004)가 분석한 일부 희토류 원소(Nd, Sm)의 양과 비교를 해보면, 우백질 화강암과 이천 화강편마암 Nd(6-66 ppm), Sm(1.6-12.5 ppm) 값이 호산리층 값(Nd, 2-66; Sm, 0.5-10.9 ppm) 과 어느 정도 부합됨을 확인할 수 있다. 특히 이천 화강편마암의 분포범위는 호산리층 평균값보다 높은 영역에 밀집되어 있음을 알 수 있다(Fig. 7). 이는 불호정적으로 거동하는 희토류 원소들이 호산리층 침용작용에 의해서 농집된 것으로 추정된다.

희토류 원소 값을 상부 지각 값으로 표준화하여 보면 비교적 LREE 값은 비교적 1의 값에 근접하다(Fig. 7b). 또한 호산리층 평균값 역시 1의 값에 매우 근접해 있다. 반면에 HREE는 미약한 음의 기울기를 갖는다. 이는 원암의 성질 때문으로 추측되며 호산리층에 대한 이 부분의 자료가 없어 좀 더 자세한 연구가 필요하다.

Table 2. Concentration of trace and rare earth elements for Precambrian granitoids in Icheonri area (this study) and average of Hosanri Formation (Cheong *et al.*, 2004).

	Leucogranitic Gneiss		Biotite Granitic Gneiss				Hosanri Foramtion
	CP15	CP19	CP21	CP22	CP28	CP29-1	
Trace element concentration (Part per million)							
Rb	141.58	176.98	139.13	145.48	172.70	179.85	186.17
Sr	51.30	114.54	110.62	250.68	258.51	144.82	117.53
Y	4.26	9.47	22.96	22.30	28.19	6.81	
Nb	2.54	8.25	12.37	9.21	21.92	4.63	
Ba	64.14	787.17	483.72	657.50	414.95	457.87	
Ta	ND	ND	ND	ND	1.96	ND	
Rare earth element concentration (Part per million)							
La	8.43	46.55	71.65	64.43	84.19	44.77	
Ce	18.60	94.66	194.13	126.60	165.60	105.54	
Pr	1.90	10.80	17.37	15.34	18.79	10.83	
Nd	6.37	37.97	58.89	52.31	66.42	37.70	27.19
Sm	1.68	6.94	10.78	10.05	12.52	7.30	4.82
Eu	0.20	1.05	1.14	1.94	1.51	0.99	
Gd	1.47	6.40	9.86	9.21	11.46	6.54	
Tb	0.23	0.81	1.28	1.22	1.59	0.79	
Dy	0.99	2.89	5.09	5.06	6.67	2.45	
Ho	0.15	0.39	0.89	0.88	1.09	0.28	
Er	0.37	0.66	2.15	2.07	2.15	0.39	
Tm	ND	ND	0.28	0.26	0.22	ND	
Yb	0.36	0.33	1.69	1.50	1.09	0.18	
Lu	ND	ND	0.25	0.22	0.14	ND	
Eu/Eu*	0.27	0.34	0.24	0.43	0.27	0.31	
(La/Sm)N	3.24	4.33	4.29	4.14	4.34	3.96	
(Gd/Yb)N	3.34	16.00	4.84	5.80	8.72	30.23	

지질 구조

이번 조사에서는 야외 조사를 통한 전반적인 암상 분포 조사와 함께 지질구조를 조사하였다. 지질구조 조사는 크게 연구지역 전 범위에 분포하는 단층의 개략 조사와 중심지역에 해당하는 삼척시 원덕읍 이천리 일대의 세부적인 단층의 특성 조사 및 엽리의 방향성 조사를 수행하였다.

연구지역 전범위에 대한 개략적인 지질 구조

조사지역의 단층은 전 암석에 고르게 분포하고 있는 편이다. 광역적인 단층의 조사 방법은 우선 조사지역을 크게 17개 그룹으로 나누어 그 일대에 분포하는 소규모 단층들의 방향성을 측정된 후 그룹별로 입체 투영도를 제작하였다. 그리고 이것을 수치표고모델(DEM; digital elevation model)로 만든 음영기복도(hillshade map)에서 추측한 선구조와 비교하여 단층선을 추정하

였다(Fig. 8a). 그 결과 이 지역의 단층은 전반적으로 동해안으로 갈수록 산출빈도가 증가하는 편이다. 조사 지역에서 측정된 단층은 ① N54° W, 77° SW ② N49° W, 81° NE ③ N10° W, 38° NE의 세 방향의 최대 집중군 방향을 형성하였다(Fig. 8b). 이들의 전단감각은 단층면에 발달한 단층활선 또는 전단감각을 지시하는 요소들이 잘 관찰되지 않아서 세밀하게 조사하지 못하였다. 그러나 일부 해안가에서 관찰되는 단층들은 정단층적인 전단감각이 관찰되기도 한다. 또한 주변에 단구 지형이 관찰되기도 한다. 호산리 부근에서는 단층 파쇄대 내에서 주향이동을 지시하는 끌림 습곡도 관찰된다.

전반적인 지역에서 추출된 엽리는 주로 호리층에서 측정했으며 그 결과 3개의 최대 집중군(① N89° E, 55° SE, ② N52° W, 59° NE ③ N35° W, 28° SW)을 나타냈다. 이 외에도 분산된 방향성을 보여주어 이 지역에 다수의 습곡작용이 일어났을 것으로 추정된다(Fig. 8c).

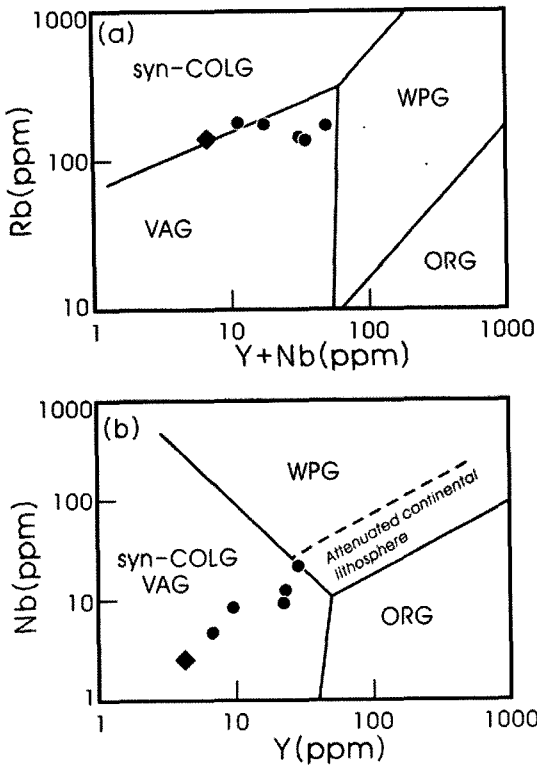


Fig. 6. Tectonic discrimination diagrams based on (a) Rb vs. Y+Nb and (b) Nb vs. Y. Abbreviations: syn-collisional granite (syn-COLG), volcanic arc granite (VAG), within plate granite (WPG) and oceanic ridge granite (ORG). Symbols are the same as Fig. 3.

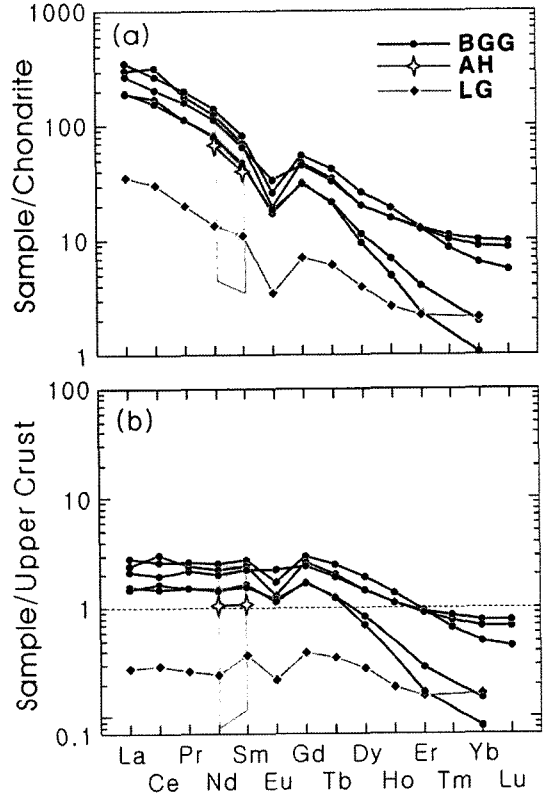


Fig. 7. Rare earth element patterns normalized to (a) CI chondrite (Sun and McDonough, 1989) and (b) upper crust (Taylor and McLennan, 1985). Gray tetragon is Nd-Sm concentration of Hosanri Formation (Cheong *et al.*, 2004).

이천리 일대의 세부 지질구조

이 지역에서 관찰된 연장성이 1 km 이상의 거대 단층은 총 5개이다(Fig. 2b의 ①부터 ⑤). 이들의 단층과 쉘대의 폭은 1 m에서 5 m 정도이며 다양한 크기의 단층각력암과 수 cm 이상의 두께를 가지는 연녹색에서 암회색의 단층점토로 구성되어 있다. 이 단층들에 대한 대략적인 설명은 Table 3에 나열되어 있다. 이 외에도 다수의 소단층들이 관찰된다. 이번 조사에서는 이천리 일대의 전반적인 단층면의 주 방향성 분석을 통계적으로 분석하기 위하여 등고선 도표를 사용하여 도표화하였다. 분석 결과 4 곳의 최대 집중군(N15° W/62° NE, N66° W/70° SE, N55° W/79° NE, N52° E/90°)의 방향성이 나타나 상술한 개략 조사와 거의 일치하는 편이다(Fig. 9a). 이것들의 단층 활선의 집중군 방향성은 총 5개(049°/25°, 119°/0°, 192°/24°, 111°/32°, 308°/34°)이며 그 중 최대 집중군인 1, 2 및 3번의 방

향성은 주 단층의 단층활선의 방향과 잘 일치하고 있다(Fig. 9b). 단층 또는 전단절리면에 발달한 단층활선의 방향성은 두 개의 최대 집중군(284°/10°, 105°/30°)이 나타났다(Fig. 9c). 즉, 10°-30° 저각의 선경사(plunge)가 발달하였으며 이러한 분석은 상기한 단층대가 형성된 이후 단층 또는 전단절리면을 따라 284°와 105°의 방향으로 주향이동단층 작용을 받았음을 지시한다. 이러한 전단절리는 절리면을 따라 이동한 변위량은 그리 크지 않으리라 사료된다.

이 지역의 대부분을 점유하고 있는 이천 화강편마암은 미약한 엽리구조를 띠고 있어 측정이 어렵다. 통계의 정확성을 기하기 위하여 가능한 조사지역 전 범위에서 측정하려 노력하였다(Fig. 2a). 분석 결과 3개의 최대 집중군의 방향(N80° E/45° SE, N37° W/68° SW, N39° W/43° NE)이 나타났다(Fig. 9d).

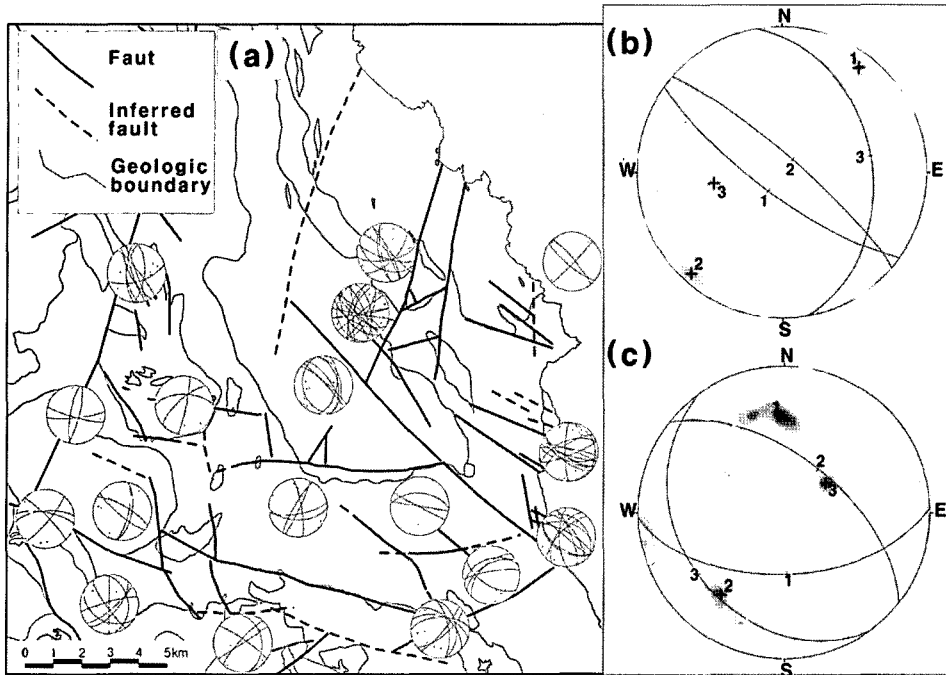


Fig. 8. (a) Fault map and stereographs of faults. Gray area in the map is Hosanri formation. A contour diagram (equal-area projection) is to faults (b; N = 118; Maximum concentration = 5.62%) in study area and foliation (c; N = 49; Maximum concentration = 7.78%) of Hosanri formation. (a) N = 38, Max. Conc. = 7.5% (b) N = 22, Max. Conc. = 11.6% (c) N = 13, Max. Conc. = 22.2% (d) N = 64, Max. Conc. = 9.2%

토 의

이천리 지역의 기원암 해석

본 연구에서는 분석에 사용된 시료의 양과 비교 대상의 시료가 많지 않기 때문에 통계적으로 정확한 데이터를 산출했다고 단정할 수는 없다. 하지만 어느 정도의 가능성은 충분히 추측 가능하다고 생각한다.

상술하였듯이 현미경 관찰 결과 주변의 호산리층 암석과 이천 화강편마암의 광물 조성이 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 채취한 호산리층 시료의 분석값은 아니지만, 주원소 분석결과는 이천 화강

편마암 분석 영역에 호산리층의 평균값이 조화를 이루고 있다. 또한 알루미늄 포화지수(A/CNK)는 이 화강암체가 과알루미늄질의 S-형 화강암에 속한다는 것을 지시한다(Fig. 4a). 미량원소 및 희토류 원소의 분포 범위도 이 두 암체가 조화를 이루고 있음을 보여준다.

최근 Debat *et al.*(2003)은 변성퇴적암류를 퇴적암 분류 도면(Herron, 1988)을 이용하여 그 근원암을 해석하였다. 동일한 방법으로 호산리층과 이천 화강편마암의 분석값을 도시하여 보면 대부분 세일내지 와케(wacke)의 영역에 도시되어 비슷한 기원암임을 지시한다(Fig. 10a). 또한 불 값으로 환산한 이천 화강편마암의 주원

Table 3. Property of faults above 1.0 km in Icheon area.

Fault No.	①	②	③	④	⑤
Strike	E82° E	N25° E	N04-15° E	N40-50° W	N25-26° W
Dip	70° SE	56° NW	68° SE	65-80° NE	80° NE
Length (km)	4.00	2.84	1.10	4.58	3.02
Trend/plunge	102°/42°	035°/25°	184°/25°	117°/31°	310°/28°
Fracture zone (m)	<5	<3	0.5-3	3-5	<2
Fault clay (m)	<0.15	-	0.04-0.12	-	<0.1
Fault type	-	Sinistral	Dextral	Sinistral	Sinistral

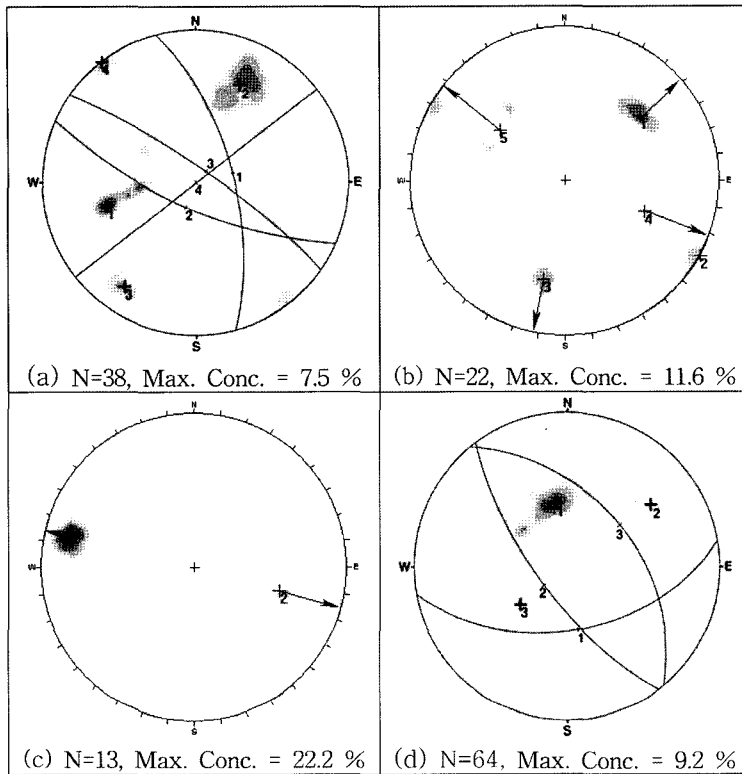


Fig. 9. Variable contour diagram (equal-area, lower hemisphere projection) on (a) fault, (b) trend and plunge of slickenlines in fault planes, (c) shear joint planes and (d) foliation in Icheon area, Fig. 2.

소 분석치를 이용하여 $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{FeOt})\text{-Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO} + \text{FeOt})$ 의 도면(Altherr *et al.*, 2000)에 도시하여 보면 일부 영역에서 벗어나는 것도 있으나 변성니질암 기원의 부분용융 영역에 도시됨을 알 수 있다(Fig. 10b).

우백질 화강암 시료는 한 지역의 시료만 분석되어 기원암 추정이 까다롭다. 하지만 야외 산출에서 보이는 미그마타이트와 우백질화강암의 조화적인 구조와 비록 상대적으로 소량이나 희토류 원소 분석에서 나타나는 이천 화강편마암과 조화적인 경향성은 기원암이 호산리층일 가능성을 제공한다(Fig. 7). 따라서 호산리층 미그마타이트의 우백대에 대한 자세한 분석이 수행되어야만 한다.

마그마의 생성환경

이천 화강편마암을 형성한 심용작용이 형성된 후 용융체 내에서 분별정출작용이 발생했을 것으로 추정된다. Al_2O_3 와 CaO 가 미약한 분화 양상을 보여주고, 콘드라이트와 상부지각으로 표준화한 희토류 분석 결과 모두에서 특징적인 음의 Eu 이상치가 나타나는 것은

이러한 결과를 반영한다고 볼 수 있다. 미량원소 중에서 Rb, Sr, Ba는 상대적으로 K, Ca를 갖는 광물들에 치환이 잘 되는 편이다. 따라서 이는 마그마내에서 사장석, K-장석, 흑운모의 분별결정 과정을 설명하는데 용이하다. Keskin(2002)의 프로그램을 이용하여 Sr-Rb 및 Sr-Ba 그래프를 그려본 결과 이천화강편마암은 사장석의 분별정출을 지시하는 벡터의 방향성과 평행한 배열을 보여준다(Fig. 11). 비록 산출데이터가 소수이긴 하지만 이러한 원소의 범위는 호산리층의 심용작용에 의해 형성된 마그마가 다소간의 사장석 분별정출 작용을 겪었음을 증명한다.

이천 화강편마암의 대부분의 주원소 분석값은 호산리층의 분석범위내에 있지만 뚜렷한 분화 양상을 보여 주지 않는다. 이러한 것은 퇴적기원 마그마가 사장석과 관련된 원소를 제외한 모든 원소들이 분화과정을 겪지 않았음을 나타낸다. 하지만 호산리층의 K_2O 평균값이 이천 화강편마암의 하한선에 도시되는 현상은 칼륨질 유체가 이천 화강암체에 유입되었을 가능성을 보여준다. 야외 조사에서도 이 암체 곳곳에 페그마타

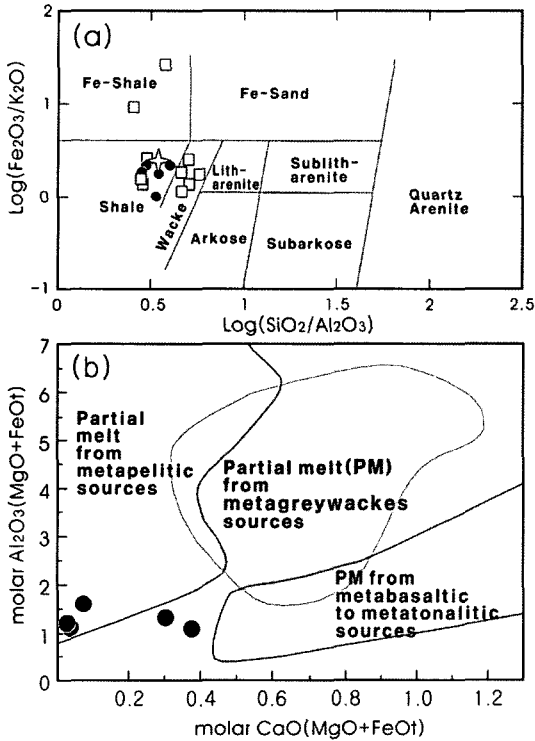


Fig. 10. Discrimination diagram of source rock. (a) Plot of Hosanri Fomation and biotite granitic gneiss in Log (SiO₂/Al₂O₃) vs Log (Fe₂O₃/K₂O) diagram (Herron, 1988); and (b) biotite granitic gneiss in molar Al₂O₃/(MgO+FeO) vs. CaO/(MgO+FeO) diagram with composition field of partial melts (Altherr *et al.*, 2000). Symbols are the same as Fig. 3.

이트맥의 관입현상이 관찰되고 호산리층과 이천 화강편마암의 일부 시료에서 레피돌라이트로 추정되는 백운모가 관찰되는 것은 이러한 가능성을 지시한다. 그러나 페그마타이트와 이천 화강편마암사이의 경계가 매우 뚜렷하기 때문에 마그마의 형성과정과는 큰 연관성이 없을 것이나 암체의 화학성분 변화에 어느 정도 역할을 했을 것으로 추정된다.

주 원소 및 미량 원소 분석 결과는 이 지역의 화강암류가 충출대환경임을 반영한다(Fig. 4b, 6). 이러한 결과는 영남육괴의 다른 화강암류의 산출결과(Kim and Cho, 2003; Hong, 1992; Lee *et al.*, 2005)와 조화를 이룬다. 따라서 북동 영남육괴가 대륙 충출 환경과 연관 깊음을 보여준다.

이후 좀 더 자세한 분석을 통하여 화강암질 암류의 정치 시기 등을 산출하여 타 지역과 대비해볼 계획이다.

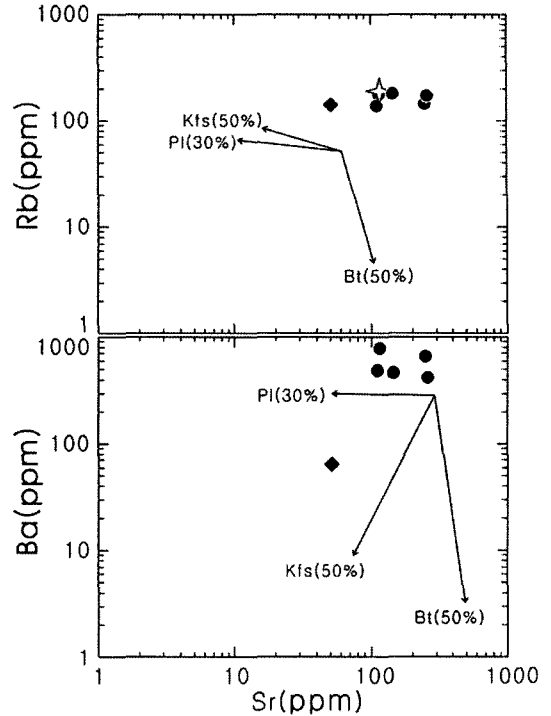


Fig. 11. Rb vs. Sr and Ba vs. Sr diagrams for granitoids. The vectors indicate the influence of Rayleigh fractionation of plagioclase (PI), K-feldspar (Kfs) and biotite (Bt) on the evolution of biotite granitic gneiss. Percentage in parenthesis represent fractionations at end point on each mineral vector. Symbols are the same as Fig. 3.

지질 구조

조사지역의 전반적인 단층을 분석한 결과 다양한 방향성의 단층들이 관찰되며 대체적으로 NW 방향의 단층이 많이 관찰된다. 특히 이천리 일대에서 세부적으로 조사된 단층들은 대부분 주향이동성 단층으로 인지된다. 또한 해안가에서는 정단층과 단구 지형이 나타난다. 따라서 전반적인 지형 및 일부 지역에서 나타나는 전단감각 그리고 세부 지역에서 조사된 전단감각을 종합하여 보면 이 지역이 횡압력과 더불어 용기 현상도 발생했을 것으로 추정된다.

이천리 지역에서 후기의 변형작용으로 인하여 이동성이 생긴 단층 또는 전단절리는 단층암이 발달되어 있지 않은 반면에 단층활면과 단층활선이 잘 발달되어 있다. 이는 연장성과 변위량이 미약한 편이다. 이러한 사실은 이천 화강편마암내의 타원형 포획암을 절단한 전단절리에서 찾아볼 수 있다. 또한 암맥류를 후에 절단한 단층 또는 전단절리에서도 이동방향(또는 전단감

각)과 변위량을 추정할 수 있다. 따라서 이러한 단층 또는 전단절리의 형성시기는 대략적으로 암맥의 형성 이후로 추정할 수 있다. 이 지역의 암맥류의 형성시기는 알려져 있지 않으나 울진 지역에서 일부 맥암류의 K-Ar 연대가 70.6 ± 2.1 Ma로 산출된 결과(정창식 외, 2001)가 있고 백악기 화산암류 내지 퇴적암류를 관입하고 있는 맥암류가 관찰되는 것으로 보아 일부 맥암은 제3기 이후의 화성활동에 의해 형성되었을 것으로 추정된다. 따라서 일부 단층의 형성연대는 신생대 제3기에 형성되었을 것으로 보이며, 이러한 추정은 울진 지역의 단층비지 Rb-Sr 절대 연령 결과(53.3 ± 0.2 - 93.0 ± 0.7 Ma; 정창식 외, 2001)와 유사하다.

엽리의 분석결과 광역적으로 호산리층에서 측정된 결과(N 89° E/ 55° SE, N 52° W/ 59° NE, N 35° W/ 28° SW)와 이천화강편마암체에서 측정된 결과(N 80° E/ 45° SE, N 37° W/ 68° SW, N 39° W/ 43° NE)가 정확하게 일치하지 않지만 대략적으로 거의 유사한 최대 집중군 방향을 보여준다. 따라서 호산리층은 이천화강편마암체 형성 이후에 두 암체가 공히 동일한 변형작용에 노출되었을 것으로 추정된다.

결 론

삼척시 남부에 위치하는 영남육괴 변성암류는 변성 퇴적암류, 이천 화강편마암, 우백질 화강암으로 나눌 수 있다. 이 지역은 개략적으로 석류석대와 규선석대로 양분된다. 이천리 지역의 이천 화강편마암의 주원소 및 미량원소 분석결과는 호산리층의 기존 분석 결과와 대부분 조화를 이루고 있으며 이질기원암의 심용작용에 의해서 형성된 것으로 나타난다. 우백질 화강암의 경우 분석데이터가 적어 비교가 힘들지만 대체적으로 호산리층의 데이터와 조화를 이루고 표준화한 희토류 원소의 경향성이 이천 화강편마암과 유사한 것으로 보아 기원암이 동일할 것으로 추정된다. 또한 CaO 및 Al₂O₃의 분석값이 분화의 경향성을 띄고 Rb, Sr, Ba과 같은 미량원소가 사장석의 분별정출 벡터와 유사한 분포성향을 나타내는 것으로 보아 호산리층의 심용작용으로 형성된 마그마가 사장석의 분별정출 과정을 거쳐 이천화강편마암을 형성했을 것으로 추정된다. 마그마의 형성 환경은 모든 데이터에서 대륙중동환경 및 화산호 환경을 지시하며 이러한 결과는 인근지역 화강암질 암류의 산출결과와 일치한다.

삼척 남부 일대에 분포하는 단층은 전반적으로 북서 방향의 단층이 우세하였고 이러한 추세는 이천리 일대에도 거의 유사하게 나타난다. 이천리 일대에 분포하

는 단층은 주향이동성 전단암각이 우세하여 전반적으로 횡압력을 받았을 것으로 추정되며 일부 지형적 요소 및 전단암각은 융기 현상을 지시한다. 전반적인 단층의 형성시기는 산성화산암류를 관입한 맥암류를 자르는 단층 또는 전단절리 등이 관찰되는 것으로 보아 최소 신생대 제 3기 이후까지 단층활동이 있었을 것으로 추정된다. 또한 엽리의 분석결과 광역적으로 호산리층과 이천화강편마암의 결과가 거의 유사한 최대 집중군 방향을 보여 동일한 변형작용에 노출되었음을 암시한다.

감사의 글

야외조사에 도움을 준 삼척 국유림 관리사무소에 감사드리며, 논문에 대하여 유익한 지적을 해 주신 한국해양연구원의 이종익 박사님과 강원대학교 이희권 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 김용준, 이대성, 1983, 석포-덕구간에 분포하는 소위 홍제사화강암의 지질연대와 생성과정에 대한 연구. 광산지질, 16, 163-221.
- 김용준, 주승환, 조동룡, 1984, 삼척지역에 분포하는 우백질화강암류의 Rb/Sr 연령에 관한 연구. 광산지질, 17, 231-236.
- 김정찬, 고희재, 이승렬, 이창범, 최성자, 박기화, 2001, 한국 지질도(1:250,000), 강릉-속초도폭 및 설명서. 한국지질자원연구원, 67p.
- 김형수, 이종혁, 1995, 분천과 홍제사 화강암질 편마암체의 변성작용. 암석학회지, 4, 61-87.
- 박계현, 정창식, 이광식, 장호완, 1993, 태백산지역의 고기화강암 및 화강편마암류에 대한 남 동위원소 연구. 지질학회지, 29, 387-395.
- 원종관, 박병권, 이상헌, 1994, 한국지질도(1:50,000), 삼척-고사리 도폭 및 설명서, 한국자원연구소, 21p.
- 윤석규, 1967, 한국지질도(1:50,000), 장성 도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 18p.
- 이상헌, 1994, 홍제사 화강암체의 성인 및 암석화학적 연구. 암석학회지, 3, 49-75.
- 이종혁, 김용준, 최병열, 1993, 한국지질도(1:50,000), 죽변-임원진 도폭 및 설명서, 한국자원연구소, 20p.
- 정창식, 이희권, 장병욱, 김정민, 이석훈, 임창복, 이종대, 김연중, 2001, 경북 울진 지역 단층대 단층암에 대한 연대 측정. 지질학회지, 37, 275-392.
- 정창식, 길영우, 김정민, 정연중, 임창복, 2004, 영남육괴 북동부 죽변지역 신캠브리아기 기반암류의 지구화학적 특징. 지질학회지, 40, 481-499.
- 주승환, 김성재, 1985, Rb-Sr 법에 의한 영남육괴 연대측정

- 연구(1): 평해, 분천, 김천 화강편마암류 및 화강암류. 동력자원연구소 보고서, 130p.
- Altherr, R., Holl, A., Hegner, E., Langer, C. and Kreuzer, H., 2000, High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in European Variscides: northern Vosges (France) and Northern Schwarzwald (Germany). *Lithos*, 50, 51-73.
- Arakawa, Y., Park, K.H., Kim, N.H., Song, Y.S and Amakawa, H., 2003, Geochemistry and tectonic implications of Proterozoic amphibolites in the northeastern part of the Yeongnam massif, South Korea. *Island Arc*, 12, 180-189.
- Batchelor, R.A. and Bowden, P., 1985, Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48, 43-55.
- Chang, H.W., Turek, A. and Kim, C.B., 2003, U-Pb zircon geochronology and Sm-Nd-Pb isotopic constraint for Precambrian plutonic rocks in the northeastern part of Ryeongnam massif, Korea. *Ceochem. Jour.* 37, 471-491.
- Chappell, B.W., White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 8, 173-174.
- Cheong, C.S., Kwon, S.T. and Park, K.H., 2000, Pb and Nd isotopic constraints on Paleoproterozoic crustal evolution of the northeastern Yeongnam massif, South Korea, *Precam. Res.*, 102, 207-220.
- Debat, P., Nikiéma, S., Mercier, A., Lompo, M., Bèziat, D., Bourges, F., Roddaz, M., Salvi, S., Tollon, F and Wenmenga, U., 2003, A new metamorphic constraint for the Eburnean orogeny from Paleoproterozoic formations of the Man shield (Aribinda and Tampilga countries, Burkina Faso). *Precam. Res.* 123, 47-65.
- Herron, M.M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Jour. Sed. Petrol.* 58, 820-829.
- Hong, Y.K., 1992, Petrogeneses and evolution of early Proterozoic granitic rocks in the northeastern Ryeongnam Massif, Korea. *J. Geol. Soc. Kor.*, 28, 571-589.
- Keskin, M., 2002, FC-modeler: a Microsoft® Excel® spreadsheet program for modeling Rayleigh fractionation vectors in closed magmatic systems. *Computer & Geoscience*, 28, 919-928.
- Kim, J.M. and Cho, M.S, 2003, Low-pressure metamorphism and leucogranite magmatism, northeastern Yeongnam Massif, Korea: Implication for Paleoproterozoic crustal evolution. *Precam. Res.*, 122, 235-251.
- Kwon, Y.W., Oh, C.W. and Kim, H.S., 2003, Granulite-facies metamorphism in the punggi area, northeastern Yeongnam Massif, Korea and its tectonic implication for east Asia. *Precam. Res.*, 122, 253-273.
- Le Fort, P., Cuney, M., Deniel, C., France-Lanord, C., Shepard, S.M.F., Upreti, B.N., and Vidal, P., 1987, Crustal generation of the Himalayan leucogranites. *Tectonophysics*, 134, 39-57.
- Lee, S.G., Shin, S.C., Jin, M.S., Ogasawara, M. and Yang, M.K., 2005, Two Paleoproterozoic strongly peraluminous granitic plutons (Nonggeori and Naedeokri granites) at the northeastern part of Yeongnam massif, Korea: geochemical and isotopic constraints in east Asian crustal formation history. *Precam. Res.*, 139, 101-120.
- Lee, S.M., Kim, H.S., and Oh, I.S., 1986, Metamorphic petrology of Precambrian gneisses in Samcheok-Jukbyeon area. *Jour. Geol. Soc. Kor.*, 22, 257-277.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, Principles of geochemistry. John Wiley & Sons, 4th ed. 42-51.
- Pearce, J.A., 1996, Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*. 19, 120-125.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G, 1984, Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rock. *Jour. Petrol.* 25, 956-983.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes in Magmatism in the ocean basins. *Geol. Soc. Special Publication*, 42, 131-345.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312p.
- White, J.R., and Chappell, B.W., 1977, Ultrametamorphism and granitoids genesis. *Tectonophysics*. 43, 7-22.

(2006년 2월 22일 접수; 2006년 3월 12일 채택)