

예천전단대 북동부 명호지역 엽리상 화강암류와 압쇄 편마암류에 대한 지구화학 및 Nd-Sr 동위원소 연구

김성원¹ · 이창윤² · 유인창^{2*}

¹조선대학교 공학기술 연구원, ²경북대학교 지질학과

Geochemical and Nd-Sr Isotope Studies for Foliated Granitoids and Mylonitized Gneisses from the Myeongho Area in Northeast Yecheon Shear Zone

Sung Won Kim¹, Chang Yun Lee² and In-Chang Ryu^{2*}

¹Research Institute of Advanced Engineering and Technology, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

²Department of Geology, Kyungbuk National University, Daegu 702-701, Korea

The NE-trending Honam shear zone is a broad, dextral strike-slip fault zone between the southern margin of the Okcheon Belt and the Precambrian Yeongnam Massif in South Korea and is parallel to the trend of Sinian deformation that is conspicuous in Far East Asia. In this paper, we report geochemical and isotopic(Sr and Nd) data of mylonitic quartz-muscovite Precambrian gneisses and surrounding foliated hornblende-biotite granitoids near the Myeongho area in the Yecheon Shear Zone, a representative segment of the Honam Shear Zone. Foliated hornblende-biotite granitoids commonly plot in the granodiorite field($\text{SiO}_2=61.9-67.1$ wt% and $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=5.21-6.99$ wt%) on SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ discrimination diagram, whereas quartz-muscovite Precambrian orthogneisses plot in the granite field. The foliated hornblende-biotite granitoids are mostly calcic and calc-alkalic and are dominantly magnesian in a modified alkali-lime index(MALI) and $\text{Fe}\# [= \text{FeO}_{\text{total}}/(\text{FeO}_{\text{total}}+\text{MgO})]$ versus SiO_2 diagrams, which correspond with geochemical characteristics of Cordilleran Mesozoic batholiths. The foliated hornblende-biotite granitoids have molar ratios of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ranging from 0.89 to 1.10 and are metaluminous to weakly peraluminous, indicating I type. In contrast, Paleoproterozoic orthogneisses have peraluminous compositions, with molar ratios of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ranging from 1.11 to 1.22. On trace element spider diagrams normalized to the primitive mantle, the large ion lithophile element(LILE) enrichments(Rb, Ba, Th and U) and negative Ta-Nb-P-Ti anomalies of foliated hornblende-biotite granitoids and mylonitized quartz-muscovite gneisses in the Yecheon Shear Zone are features common to subduction-related granitoids and are also found in granitoids from a crustal source derived from the arc crust of active continental margin. $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ and initial Sr-ratio ratios of foliated hornblende-biotite granitoids with suggest the involvement of upper crust-derived melts in granitoid petrogenesis. Foliated hornblende-biotite granitoids in the study area, together with the Yeongju Batholith, show not changing contents of specific elements(Ti, P, Zr, V and Y) from shear zone to the area near the shear zone. These results suggest that no volume changes and geochemical alterations in fluid-rich foliated hornblende-biotite granitoids may occur during deformation, which mass transfer by fluid flow into the shear zone is equal to the mass transfer out of the shear zone.

Key words : Yecheon shear zone, foliated hornblende-biotite granitoids, mylonitized quartz-muscovite orthogneiss, arc crust, subduction

북동 방향의 호남전단대는 한국의 옥천대 남쪽 경계와 선캠브리아기 영남육괴 사이를 지나는 광역적인 우수향 주향 이동 단층대로 동아시아의 두드러진 지나 변형의 방향과 평행하다. 이 논문에서는 호남전단대의 한 지류인 예천전단대 명호지역의 선캠브리아기 압쇄 석영-백운모 편마암과 엽리상 각섬석-흑운모 화강암의 지구화학 및 Nd-Sr 동위원소

*Corresponding author: inchang@knu.ac.kr

자료를 보고하고자 한다. 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류를 SiO_2 대 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 분별도에 도시하면 SiO_2 의 함량은 61.9-67.1 wt% 그리고 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 함량은 5.21-6.99 wt%로 화강섬록암 영역에 대부분이 점시된다. 선캠브리아기 압쇄 석영-백운모 편마암은 화강암의 영역에 점시된다. SiO_2 에 대한 수정된 알칼리-라임 지수 및 $\text{Fe}\#(\text{FeO}_{\text{total}}/(\text{FeO}_{\text{total}}+\text{Mg}))$ 에 의한 관계도에서 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 칼크-알카리 계열의 마크네슘 성분이 우세한 코딜러안(Cordilleran)형 중생대 화강암류의 지화학 특징과 잘 부합된다. 또한 이들 암석들은 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 가 0.89~1.10로 중알루미나에서 약한 고알루미나질의 I형에 해당한다. 하지만, 원남층의 압쇄 편마암은 1.11~1.22의 과알루미나질을 보여준다. 연구지역 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류 및 압쇄 편마암류의 미량원소 성분을 초생맨틀(Primitive mantle) 값으로 규격화한 거미 성분도상에서는 저장력 원소(large ion lithophile element)이며 불호정성 원소인 Rb, Ba, Th 및 U이 부화되어 있고 Ta, Nb, P, Ti가 상대적으로 다른 원소보다 결핍되어 있으며 이러한 지화학적 특징은 호상형(Arc-type) 화강암류와 전형적인 활동성 대륙연변부의 지각물질로부터 유래한 화강암류와 유사하다. $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ 와 Sr 초생값은 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류가 상부지각의 기원물질로부터 형성된 마그마로부터 생성되었음을 지시해 주고 있다. 연구지역을 포함한 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 전단대에서 멀어지면서 변형에 의한 특정 원소들(Ti, P, Zr, V 및 Y)의 변화경향이 관찰되지 않는다. 이러한 원인으로, 많은 유체를 가지고 있는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류에서는 전단운동 변형동안 전단대 내와 외부의 유체의 흐름에 의한 질량 전달이 동일하게 일어나 암석 내의 부피변화 및 지화학 변질들을 야기시키지 않았을 것으로 추정된다.

주요어 : 예천전단대, 엽리상 각섬석-흑운모 화강암, 압쇄 석영-백운모 편마암, 호상 지각, 섭입

1. 서 언

북동-남서 방향에서 동서 방향으로 가로지르는 수메의 우수향 연성 호남전단대는 공간적으로 크게 순창전단대, 전주전단대 및 예천전단대로 구분되며(Fig. 1), 한반도를 포함, 동북아시아의 지체구조 발달사를 이해하는데 있어서 매우 중요한 위치를 차지한다. 호남전단대에 대한 구조 및 지질연대 연구는 1980년대부터 많은 연구자에 의해 체계적으로 진행되어 왔다(e.g., Yanai *et al.*, 1985, 1993; Choo and Kim 1986; Chang 1990, 1991; Cluzel *et al.*, 1991a, b; Kim and Kee 1994; Turek and Kim 1995; Kim and Turek 1996; Otoh and Yanai 1996; Kwon and Ree 1997; Cho *et al.*, 1999; Otoh *et al.*, 1999; Ree *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2005a, b; Sagong *et al.*, 2005; Cheong *et al.*, 2006). 또한, 호남전단대의 우수향 연성 전단운동 시기에 대한 연구는 1990년대 중반 이후부터 활발하게 진행되어 왔다. 호남전단대의 지류인 순창전단대에 분포하는 엽리상 화강암류와 주변부 비엽리상의 화강암류에 대한 IDTIMS U-Pb 저어콘 및 스피넬연대와 CHIME 모나자이트 연대 비교 결과는 호남전단대의 주 전단 운동시기가 183 Ma에서 176 Ma 사이에 일어난 것을 지시한다(Kim and Turek 1996; Cho *et al.*, 1999). 호남전단대의 또 다른 지류인 전주전단대 엽리상 화강암류와 주변부 비엽리상의 화강암류에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 비교 결과는 전주전단대의 주 전단 운동시기가 173 Ma에서 170 Ma

사이로(Lee *et al.*, 1999) 순창전단대의 전단시기보다 후기임을 지시한다. 최근 순창전단대 내의 엽리상 화강암의 162 Ma의 Rb-Sr 장석-운모 연대와 순창전단대와 전주전단대 내의 초압쇄암의 138~139 Ma의 Rb-Sr 세립질의 백운모 등시선 연대들은 후기 전단운동(혹은 변형)의 시기들을 지시한다(Cheong *et al.*, 2006). 가장 최근, 호남전단대의 북동부에 위치하는 예천전단대 명호지역 내에 분포하는 187 Ma의 관입시기를 가지는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류와 고원생대 압쇄 편마암류의 178~179 Ma SHRIMP U-Pb 저어콘 과성장 외연부 연대들과 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류와 압쇄 편마암류의 162~168 Ma, 148~155 Ma 및 136 Ma의 K-Ar 백운모 및 흑운모 연령 결과들은(Kim *et al.*, submitted), 앞서 서술된 기존의 연대 결과들과 함께 호남전단대의 주 전단운동이 179 Ma에서 178 Ma 사이에 일어난 후, 적어도 세 시기(162~168 Ma, 148~155 Ma 및 136~139 Ma)에 걸쳐 단속적인 전단운동(변형)이 일어났음을 알 수 있다.

예천전단대의 북부 영주저반과 남부 안동저반은 다양한 심성암체로 구성되지만(Figs. 1 and 2; Lee *et al.*, 1998; Hwang *et al.*, 1999), 대부분이 엽리상의 구조를 보여준다. 전단대 내와 주변부에서 관찰되는 강한 엽리구조들은 화강암류의 관입 이후에 이들 지역의 우수향 전단운동(178~179 Ma, Kim *et al.*, submitted)에 의해 활성화되었음을 알 수 있다(Chang, 1990, 1991). 하지만, 전체 화강암류 저반에 대한 암석학 및 지화학 연구에 비해 관입시기 및 전단시기를 보여주는

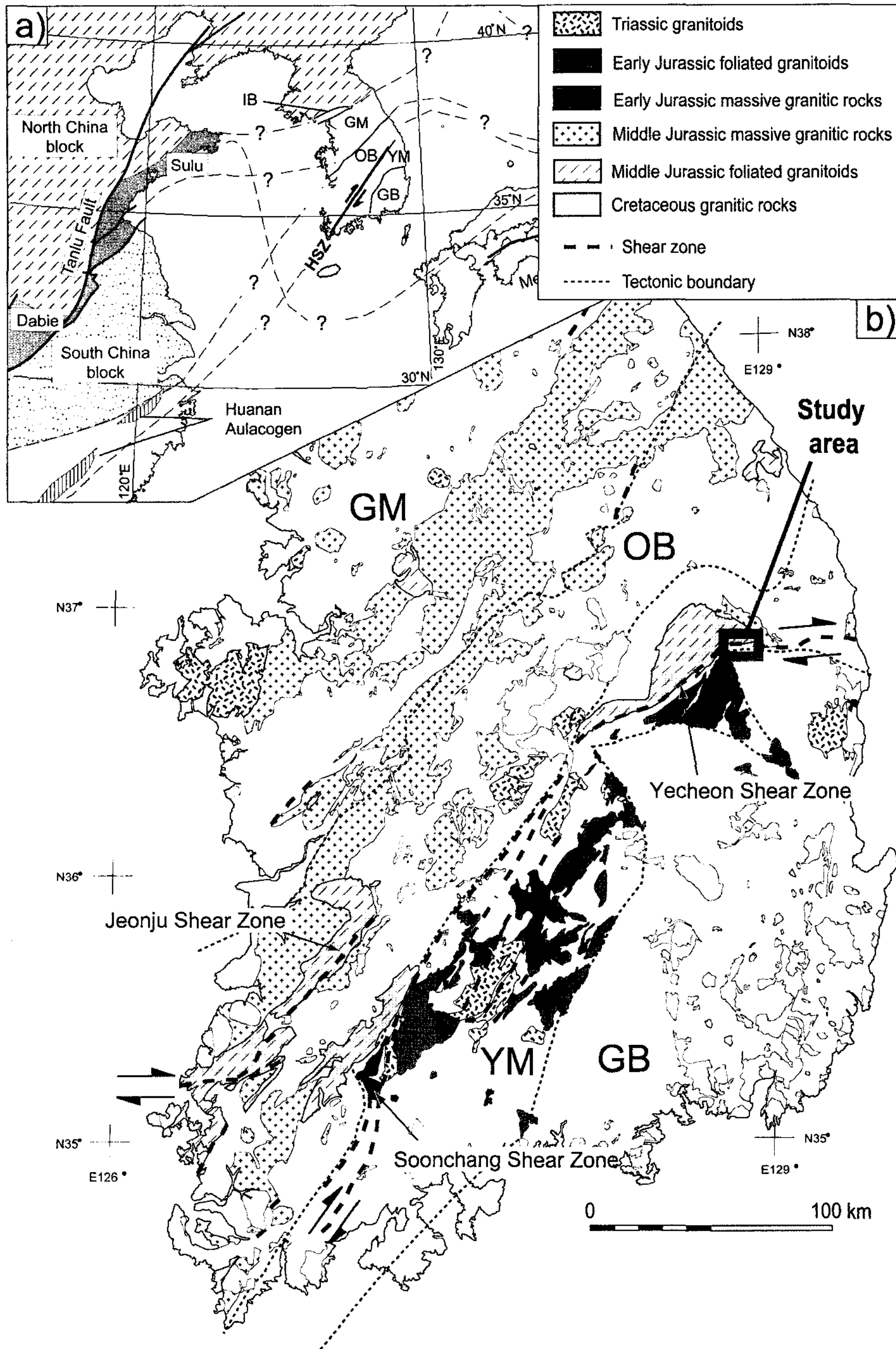


Fig. 1. a) Tectonic map of northeast Asia. b) Distribution of Mesozoic granitoids in South Korea. IB, Imjingang Belt; GM, Gyeonggi Massif; OB, Okcheon Belt; TB, Taebaeksan Basin; YM, Yeongnam Massif; GB, Gyeongsang Basin; HS, Hongseong area; HSZ, Honam Shear Zone. The Honam Shear Zone includes a group of large-scale dextral strike-slip faults.

지질 연대학적 연구가 제대로 수행되지 못한 상태이다. 또한 전단대 내와 주변부의 암석에 대한 전단운동의 영

향에 의한 지화학적 특성이 충분히 정립되지 않은 상태이다.

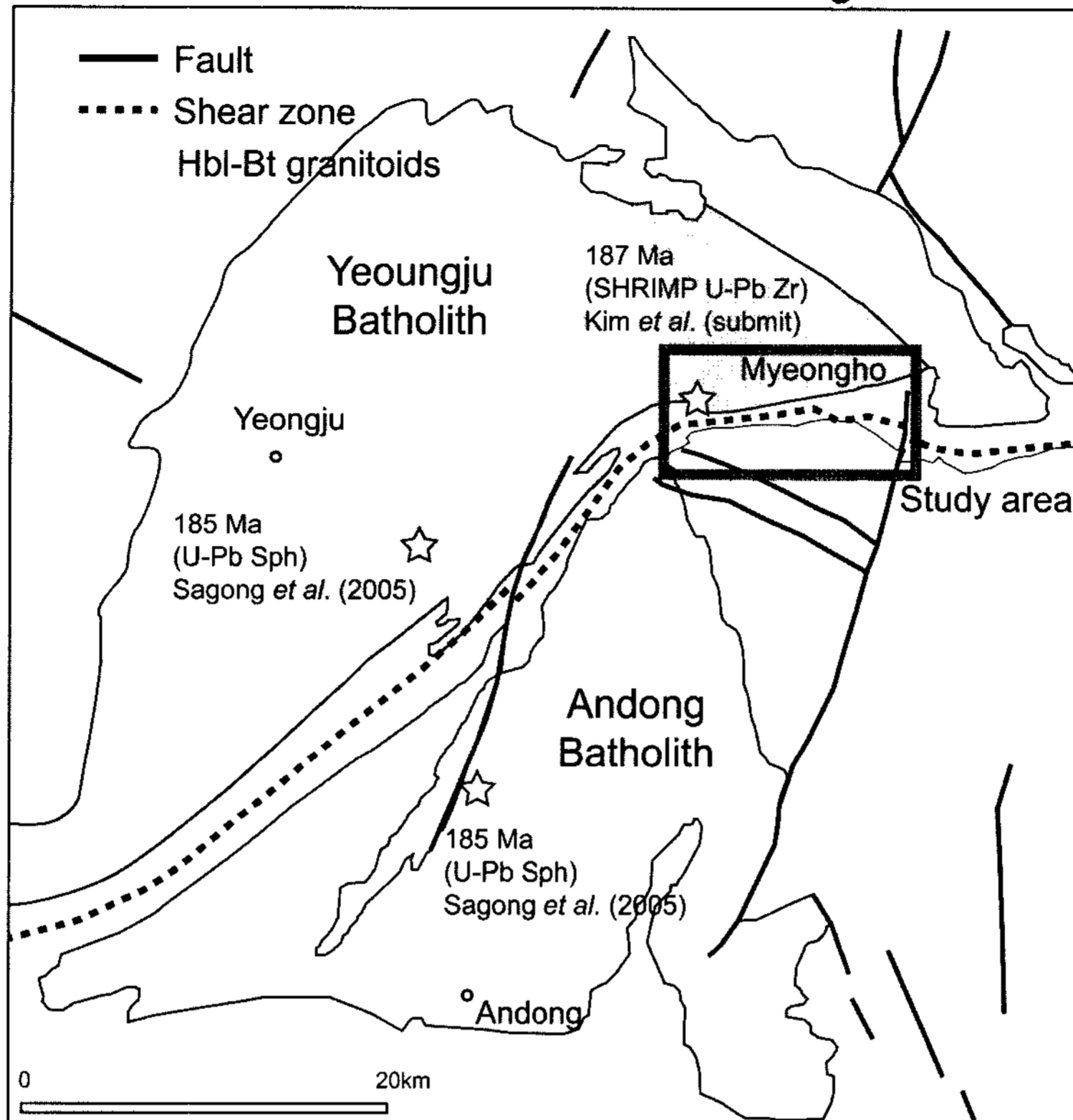


Fig. 2. Geological sketch map of the Yeongju-Andong area, northeastern Yeongnam Massif. The grey box presents study area. The distribution of shear zones follows Otoh and Yanai(1996).

본 연구에서는 본 연구전에 의해 기 보고된 관입시기 및 전단시기(Kim *et al.*, submitted)가 규명된 예천전단대 영주저반에 속하는 명호지역 전단대 내와 주변부에 분포하는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류를 대상으로(Figs. 2 and 3) 지구화학 및 Sr-Nd 동위원소분석을 실시하여, 생성시의 조구조 환경을 유추하였다. 또한 연구결과들을 지금까지 보고된 전단대 주변부의 영주저반 및 안동저반 내에 분포하는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 지구화학적 특징, 조구조 환경 및 화성활동시기(Lee *et al.*, 1998, 1999; Hwang *et al.*, 1999; Sagong *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2006)와 비교 분석하였다. 부수적으로 전단시기가 규명된 전단대 내에 분포하는 선캠브리아기 압쇄 편마암류의 지구화학 분석을 수행하였으며, 생성시의 조구조 환경을 유추하였다.

2. 일반지질

연구지역은 예천전단대 북동부 지역에 위치하고 있

으며 행정구역상 경상북도 봉화군 명호면에 속한다. 선캠브리아기의 원남층과 북부에 영주저반에 포함되는 각섬석-흑운모 화강암류가 관입 분포하며 남부에는 백악기 퇴적-화산쇄설성 암류가 원남층을 부정합으로 피복하고 있다(Fig. 3). 전단대는 원남층 및 원남층과 각섬석-흑운모 화강암류 접경부를 따라 띠 형태로 동서 방향의 주향을 가지고 뚜렷이 발달되어 있다. 선캠브리아기 원남층은 원남층, 동수곡층, 장군석회암층과 두음리층으로 구성되는 원남층군 중 가장 하위에 속하며(Son and Kim, 1963; Kim *et al.*, 1963), 주로 석영-백운모 화강암질 편마암(혹은 정편마암류), 변성이질-사질암 및 변성석회질암 등으로 구성된다. 이들의 변성암류는 대부분 녹색 편암상에서 녹염석 각섬암상을 경험한 것으로 추정되며(Lee, 1986), 압쇄작용을 잘 보여준다. 특히, S-C 압쇄구조, 압쇄면과 평행하게 신장된 석영 그리고 동력 재결정화작용으로 석영이 세립으로 재결정화된 구조 등을 통하여 현미경 및 야외에서 우수향 감각을 관찰할 수 있다.

Kim *et al.*(submitted)은 연구지역 원남층군의 압쇄

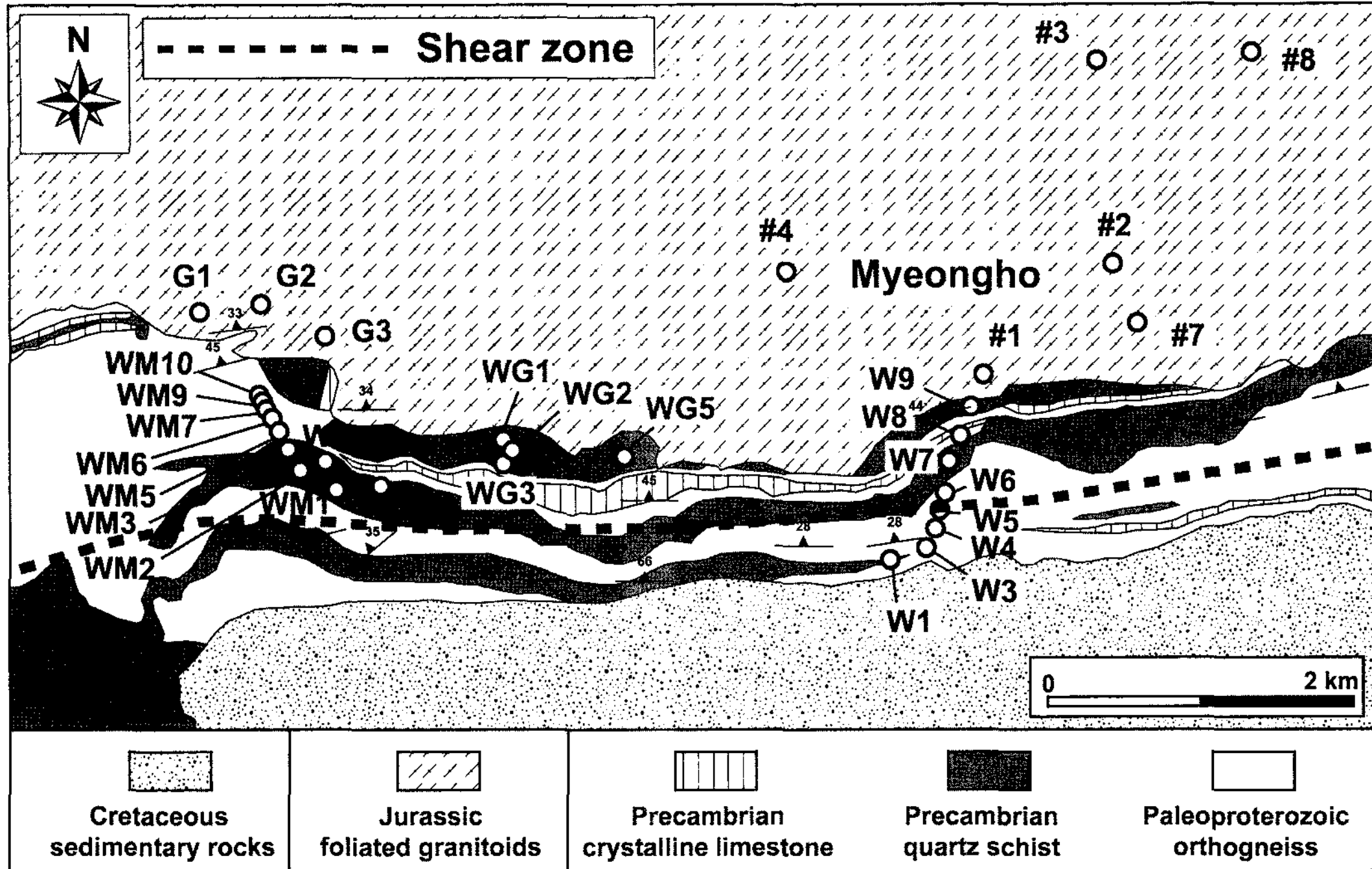


Fig. 3. Geological sketch map of the Myeongho area, located in the northeastern part of the Yecheon Shear Zone, South Korea, showing the locations of the samples that we analyzed.

된 석영-백운모 화강암질 편마암에서 SHRIMP U-Pb 연대를 이용하여 분리한 저어콘의 양추형으로 과성장한 외연부에서 일치연령인 약 179 Ma의 연대를 보고하였고 저어콘 내부의 불균질한 누대를 가진 상속핵으로부터 2434 Ma 및 2703 Ma의 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 연대분포를 보고하였다. 이는 이들 암석의 원암이 고원생대 혹은 시생대 후기 암석으로부터 유래하였고 호남전단대의 주 운동시기(약 179 Ma)에 강한 압쇄에 의한 변형을 보여주는 것으로 추정된다. 또한 압쇄를 강하게 받은 5개의 석영-백운모 화강암질 편마암과 10개의 석영-백운모 변성이질-사질암의 K-Ar 백운모 연령들은 162~168 Ma, 148~155 Ma 및 136 Ma의 연대분포를 보여준다. 이는 Cheong *et al.*(2006)에 의해 보고된 순창 및 전주전단대에서 Rb-Sr 광물연대들과도 잘 부합되며, 호남전단대의 주 전단운동 시기인 178~179 Ma 이후의 단속적인 전단에 의한 변형시기들을 지시할 수 있다.

연구지역을 포함하는 영주저반은 주로 각섬석-흑운모 화강암류, 흑운모 섬록암, 흑운모 화강암의 부석 심성암체와 춘양 화강암의 춘양 심성암체 및 세립질 복운모의 장수 심성암체로 세분화 된다(Hwang *et al.*, 1999). 예천전단대의 주변부 영주저반의 남쪽 부분은 주로 각섬석-흑운모 화강암류가 우세하고 분포하며(Fig. 2), 연구

지역인 명호지역 역시 대부분의 화강암류가 각섬석-흑운모 화강암류로 구성된다. 이 암상은 각섬석-흑운모 토날라이트(Hwang *et al.*, 1999)라고도 하지만, 대체로 토날라이트에서 화강섬록암의 영역 조성을 가진다(Lee *et al.*, 1998). 본 연구는 각섬석-흑운모 화강암류를 대상으로 제한한다. 각섬석-흑운모 화강암류는 본 역에서 원남층과 북부경계부로 접하고 있으며 입도는 조립질 내지 중립질이고 회색 내지 암회색을 띠며 전체적으로 미약하게 동서 방향의 마그마성 엽리를 보여주지만, 전단대로 갈수록 뚜렷한 압쇄 엽리를 보여준다. 특히 엽리에 평행한 군집형태의 각섬석과 흑운모를 많이 포함한 암회색을 띤 암상에서 파열쇄설성 엽리(cataclastic foliation)가 잘 발달되어 있으며, 이는 예천전단대의 압쇄작용과 밀접한 관련을 가진다(Chang, 1990, 1991). 드물게 거정질 K-장석 반정을 가지는 암상이 나타나기도 한다. 각섬석-흑운모 화강암류에 대한 현미경하에서의 광물군은 주로 석영+사장석+흑운모+각섬석+K-장석의 광물조합을 보이며 일부 암상에서는 전단작용의 영향 혹은 후기 변형 작용으로 인하여 흑운모 및 각섬석이 녹니석 및 녹염석 등의 2차 변질광물로 산출된다.

영주 및 안동 저반의 화강암류들에 대한 관입연대가 아직 많이 보고되지는 않았지만, 각각 예천전단대 인

Table 1. Major and trace element analyses of the mylonitized Precambrian rocks and foliated hornblende granodiorites in the Yecheon Shear Zone, South Korea.

Rock type	JG	JG	JG	JG	JG	JG	JG	JG	JG	PG	PG	PG
Sample	G1	G2	G3	#1	#2	#3	#4	#7	#8	W4	WM6	WM7
SiO ₂ (wt%)	65.01	63.78	65.62	65.52	64.04	65.77	66.68	67.1	65.71	74.46	73.41	73.08
TiO ₂	0.648	0.329	0.428	0.582	0.425	0.541	1.259	0.451	0.493	0.134	0.137	0.302
Al ₂ O ₃	17.22	17.44	16.48	17.28	16.88	15.87	15.32	16.17	16.12	13.82	14.22	12.83
Fe ₂ O ₃ *	3.99	3.09	3.65	4.16	4.23	4.24	3.66	3.57	4.39	1.92	1.77	3.04
MnO	0.061	0.045	0.059	0.066	0.066	0.067	0.067	0.056	0.068	0.02	0.02	0.031
MgO	1.42	1.1	1.31	1.52	1.59	1.63	1.31	1.24	1.53	0.49	0.4	0.93
CaO	4.48	2.66	3.44	4.58	4.32	4.38	5.26	4.22	4.28	1.24	1.48	1.38
Na ₂ O	3.5	2.61	3.42	3.7	3.34	3.16	3.01	3.54	3.19	3.38	2.74	3.11
K ₂ O	2.75	7.38	2.89	2.86	2.73	2.92	2.2	2.51	3.13	3.72	5.17	2.66
P ₂ O ₅	0.19	0.14	0.15	0.18	0.17	0.2	0.18	0.14	0.19	0.23	0.04	0.14
LOI	1.41	1.23	1.76	0.54	0.93	1.09	2.03	0.81	0.9	1.4	0.67	0.94
TOTAL	100.7	99.81	99.21	101	98.74	99.89	101	99.81	100	100.8	100.1	98.44
Ba(ppm)	1087	4035	1001	741	814	1071	849	619	932	500	830	303
Sr	590	688	567	541	539	569	559	492	516	206	405	167
Zr	199	128	181	222	187	179	205	122	184	58	87	154
Ga	25	20	23	26	24	24	21	22	22	16	16	16
V	48	35	44	55	50	55	63	46	49	15	9	32
Hf	4.9	3.2	4.4	5.2	4.5	4.4	5	3.5	4.4	1.8	3.2	3.9
Nb	14.7	2.6	4.5	11.2	2.8	8.4	50.1	7.5	5.4	5	4.9	8.8
Ta	2.1	0.1	0.2	1.2	0.1	0.6	8	0.8	0.2	0.7	0.6	1
Rb	69	152	91	118	111	99	64	95	100	166	142	128
Y	21	4	7	16	5	14	81	11	9	11	4	16
Cs	0.8	1.5	2.4	2.5	1.4	1.4	1.7	1.6	1.6	1.7	2.2	3.7
U	2.51	0.87	1.16	1.75	0.9	0.88	3.82	1.13	1.29	9.9	4.8	4.58
Th	14.4	6.69	7.46	11.3	13.6	16.9	9.76	5.68	16.8	7.99	5.22	9.92
Pb	22	41	14	15	14	14	14	11	13	32	32	27
La	43.5	27.3	17.5	29.9	42.1	55.6	28.0	17.8	49.3	17.0	7.9	27.0
Ce	79.1	41.5	36.7	58.2	78.2	105	71.1	30.3	91.8	34.5	15.9	51.9
Pr	10.1	5.24	4.01	7.4	8.71	12.3	11.6	4.41	10.5	4.24	1.94	6.29
Nd	31.7	15.1	12	23.9	24.3	36.7	56.9	14.4	30.1	13	5.71	19.8
Sm	6.36	2.04	2.14	4.95	3.33	5.91	16.2	3.04	4.46	2.84	1.07	4.13
Eu	1.66	0.64	0.68	1.37	0.74	1.53	5.09	0.96	1.01	0.67	0.72	0.91
Gd	5.95	1.47	1.9	4.78	2.31	4.83	18.2	3.07	3.39	2.84	0.84	3.52
Tb	0.85	0.16	0.27	0.68	0.25	0.63	3.05	0.42	0.38	0.46	0.12	0.58
Dy	4.29	0.72	1.4	3.48	1.11	2.98	15.9	2.18	1.75	2.33	0.63	2.89
Ho	0.73	0.13	0.24	0.58	0.18	0.49	2.65	0.36	0.28	0.38	0.12	0.52
Er	1.98	0.37	0.66	1.6	0.51	1.32	7.38	1.02	0.77	0.94	0.4	1.42
Tm	0.29	0.05	0.10	0.23	0.07	0.18	1.10	0.15	0.11	0.13	0.07	0.20
Yb	1.73	0.33	0.61	1.4	0.47	1.08	6.46	0.91	0.62	0.73	0.54	1.2
Lu	0.24	0.05	0.09	0.19	0.07	0.15	0.84	0.13	0.10	0.10	0.10	0.16
Eu/Eu*	0.82	1.12	1.03	0.86	0.81	0.88	0.91	0.96	0.79	0.72	2.33	0.73

Total iron as Fe₂O₃. JG, Jurassic Granitoid sample; PG, Precambrian Gneiss samples

근의 영주저반에서는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류에 대해 187 Ma의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연령(Kim *et al.*, submitted), 169~171 Ma의 U-Pb 스피넬 연령(Sagong *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2006) 및 185 Ma

의 K-Ar 각섬석 연령(Jin and Chang, 1999)을 보여 주며, 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 185 Ma의 U-Pb 스피넬의 연령을 보여준다. 이들 연대 자료결과는 좀 더 체계적이고 많은 연대자료가 요구되

지만, 예천 전단대 주변의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 관입시기들이 185~187 Ma와 169~171 Ma의 두 시기로 나누어짐을 알 수 있다. 참고적으로 K-Ar의 각섬석 연대는 비교적 폐쇄온도가 높아 아주 느린 냉각이 아니라면 정치시기와 큰 차이는 없을 것으로 추정되고 있다(Jin and Chang, 1999).

3. 지화학적 특성

예천전단대 명호지역 내에 분포하는 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류와 전단대 내 원남층의 압쇄 편마암류의 전암 화학분석을 위해 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류 9개와 원남층의 압쇄 편마암류 3개 등 총 12개의 시료들을 신선도와 위치 대표성을 고려하여 선정한 후 주원소 및 미량성분조성과 희토류원소를 분석하였다(Fig. 3 and Table 1). 또한 기존에 발표된 전단대 주변의 영주저반과 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 암석 지화학적 자료들(Lee *et al.*, 1998)을 본 연구 자료와 비교하였다. Hwang *et al.*(1999)에 의해 예천전단대 내와 주변부에 분포하는 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류에 대한 자세한 지구화학적 특징도 보고되었지만, 주 성분원소에 LOI의 분석이 수행되지 않았고 시료의 위

치가 표시되어 있지 않아 관입연대경향과 전단대에 의한 지화학 영향 비교가 어려워 본 연구의 지화학적 특성 논의에서는 제외한다.

분석에 선정된 시료들은 현미경관찰을 통해 신선도를 재확인하고 텅스텐 카바이드 재질 분쇄기를 이용 분말 시료로 만들었다. 전암 화학분석은 캐나다의 Activation Laboratories Ltd.에서 ICP-AES(Termo Jarrel-Ash ENVIRO II)과 ICP-MS(Perkin Elmer Optima)로 분석을 수행하였다.

연구지역을 포함한 예천전단대 주변부의 영주저반 및 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류를 SiO₂ 대 Na₂O+K₂O의 분별도에 도시하면 SiO₂의 함량은 61.9-67.1 wt% 그리고 Na₂O+K₂O의 함량은 5.21-6.99 wt%로 서브-알칼라인의 화강섬록암 영역에 대부분이 점시된다(Fig. 4). 거정질의 K-장석 반정을 포함한 시료는 섬장암 혹은 알칼리 화강암 영역에 점시되기도 한다. 전단대 내 원남층에 분포하는 압쇄 석영-백운모 화강암질 편마암은 화강암 영역에 속한다. 또한 기존의 자료들과 현재 분석된 주성분함량에 대해 화강암류 분류를 해보면 SiO₂에 대한 K₂O 함량 관계도에서 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 켈크-알칼인에서 High-K 켈크-알칼인 영역에 점시되고, 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 켈크-알칼인 영역에

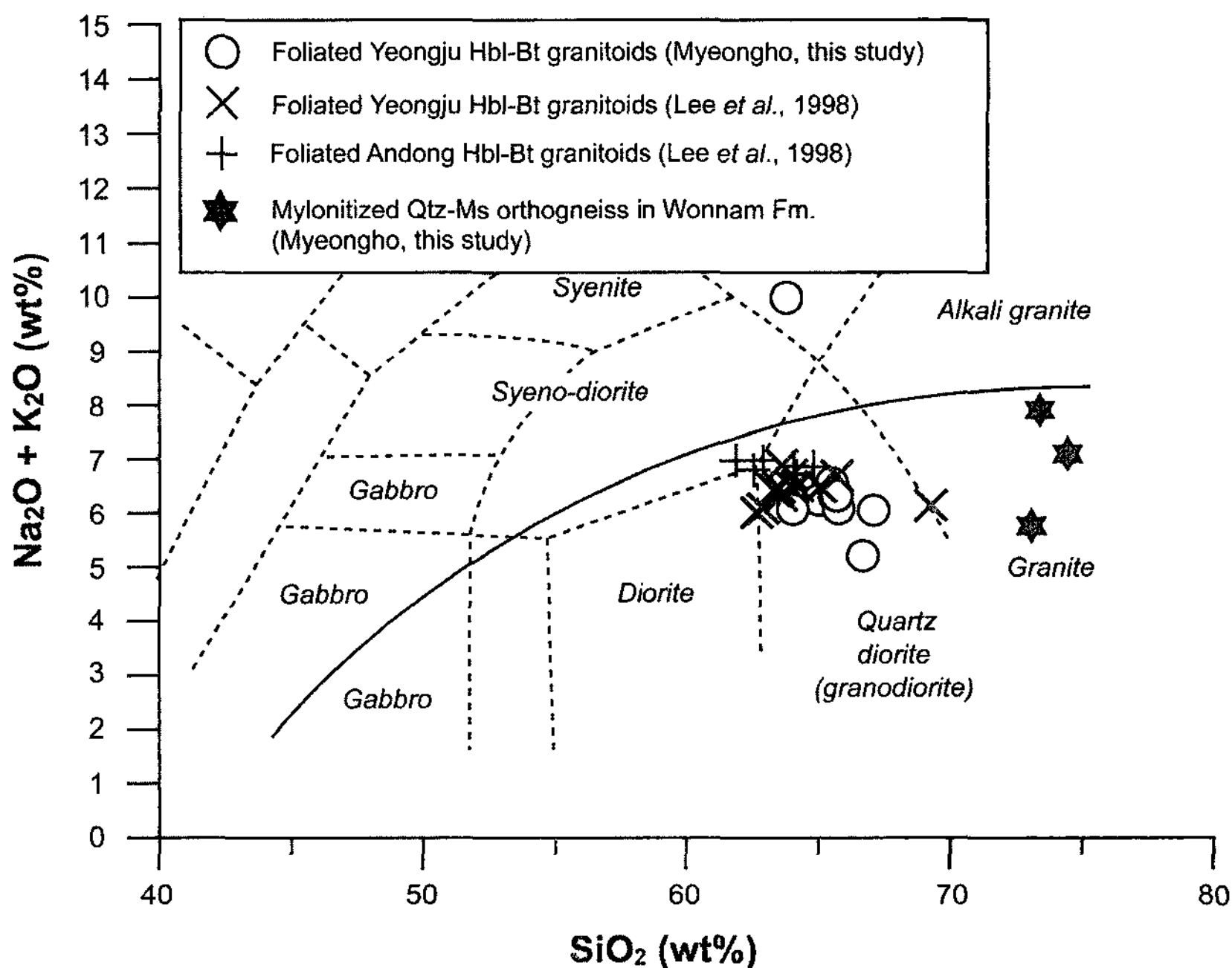


Fig. 4. SiO₂ vs. Na₂O+K₂O classification diagram in mylonitized Precambrian quartz-muscovite orthogneisses and foliated hornblende-biotite granitoids in the Yecheon Shear Zone from the Myeongho area.

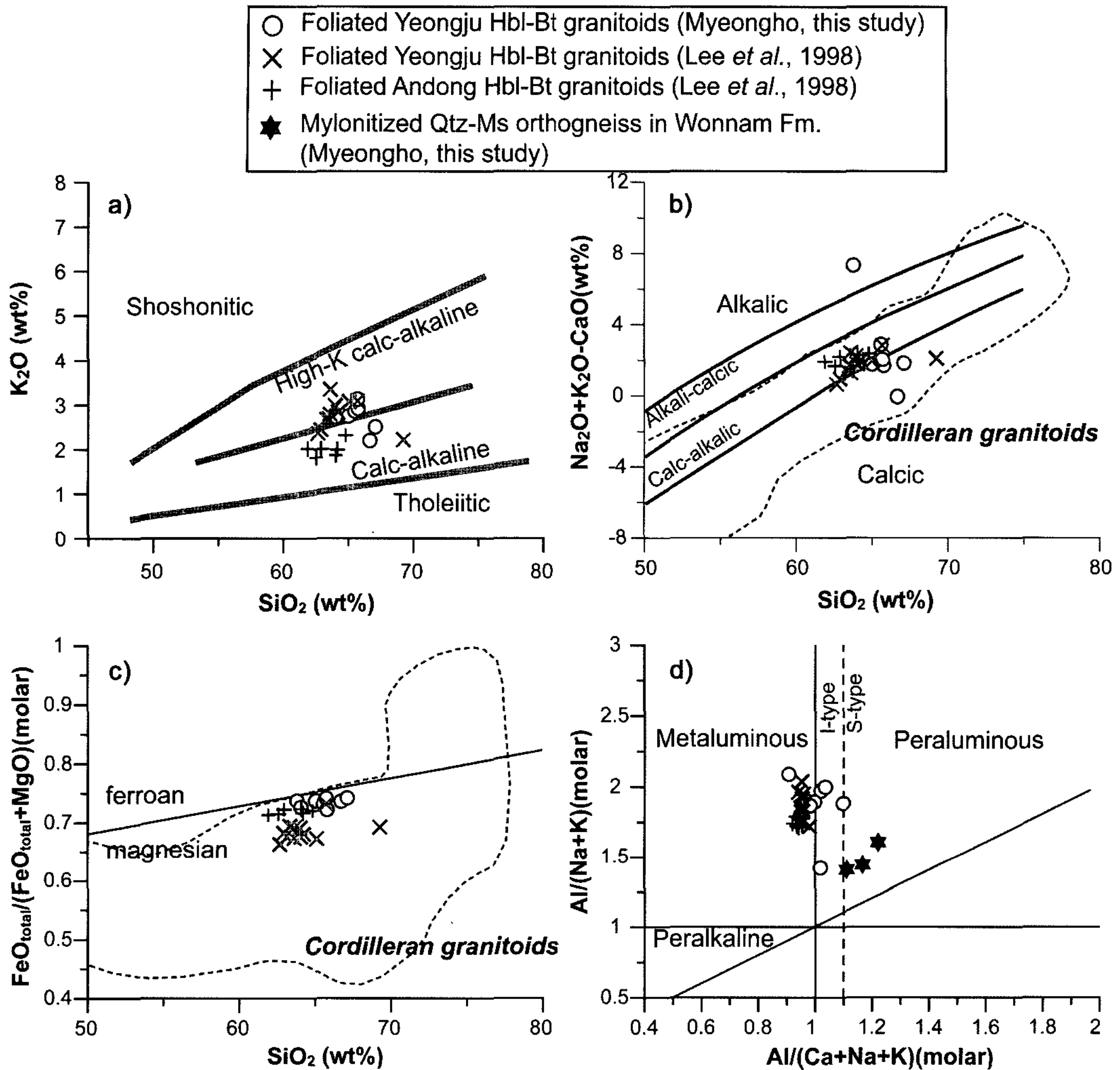


Fig. 5. Geochemical variation in in mylonitized Precambrian quartz-muscovite orthogneisses and foliated hornblende-biotite granitoids in the Yecheon Shear Zone from the Myeongho area together with hornblende-biotite granitoids from the Yeongju and Andong granitoid batholith(Lee *et al.*, 1999). (a) SiO₂ vs. K₂O, (b) Na₂O+K₂O–CaO vs. SiO₂, (c) FeO_{total}/(FeO_{total}+MgO) vs. SiO₂ and (d) molar Al/(Na + K) versus molar Al/(Ca+Na+K) discrimination diagrams. Diagrams (b) and (c) show the compositional range of granitoids from the Mesozoic Cordilleran batholiths of the western USA and northwestern Mexico(from Frost *et al.*, 2001 and references therein).

속한다(Fig. 5). SiO₂에 대한 Peacock(1931)이 제안한 알칼리-라임 분류를 수정한 알칼리-라임 지수(MALI, modified alkali-lime index; Frost *et al.*, 2001) 및 Fe# (FeO_{total}/(FeO_{total}+Mg))에 의한 관계도에서 영주저반 및 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 칼크-알카리 및 마크네시안(Mg 함량) 성분이 우세하며, 전형적인 대륙연변부의 해양지각 섭입과 관련된 코딜러리안형 중생대 화강암류(Cordilleran type Mesozoic granitoids)의 성분과 잘 부합된다(Fig. 5; Frost *et al.*, 2001 and references therein). 또한 이들 암석들은 A/CNK(Al₂O₃/

(CaO+Na₂O+K₂O))가 1.1이하인 I 형에 해당한다. 하지만, 원남층의 압쇄 편마암류 3개 시료들은 과알루미나질(peraluminous)을 보여준다.

연구지역인 명호지역의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류를 운석으로 규격화(Sun and McDonough, 1989)한 희토류 원소의 양상은 성분변화가 다소 넓으며, 약한 정도의 부(-)부터 정(+)-까지의 Eu 이상 정도(0.79 < Eu/Eu* < 1.12)를 다양하게 보여준다. 또한, 중희토류에서 경희토류까지의 경사 기울기(La/Yb_N=3.1~64.0)는 완만함에서 중간 정도의 급격함을 보여준다(Fig. 6). 전단

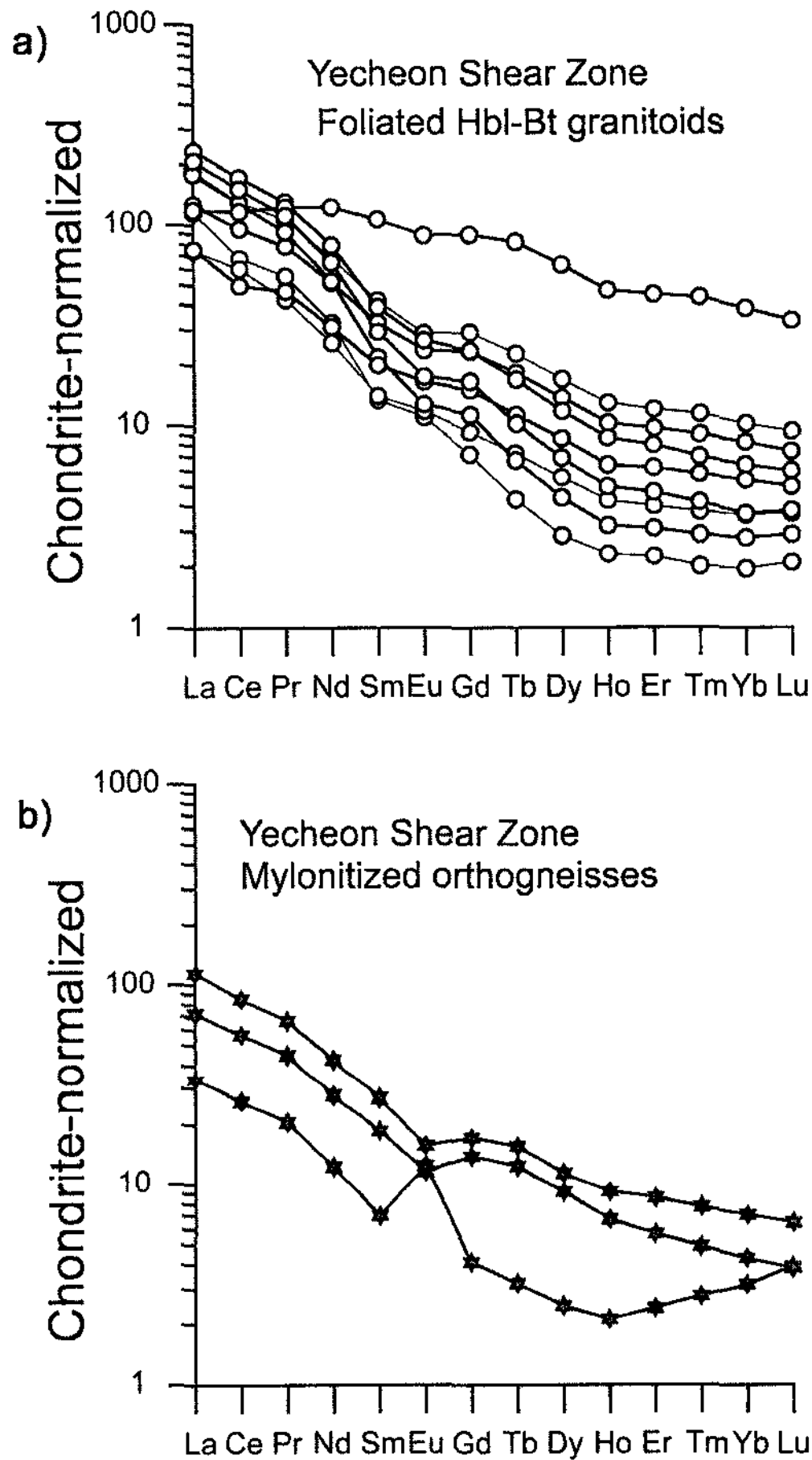


Fig. 6. Chondrite-normalized(Sun and McDonough, 1989) rare earth element (REE) patterns for mylonitized Precambrian quartz-muscovite orthogneisses and foliated hornblende-biotite granitoids from the Myeongho area. Symbols as in Fig. 4.

대 내 원남층의 압쇄 편마암류에서도 비슷한 양상을 보여주지만 일부 시료에서는 강한 정의 Eu 이상치를 보여준다.

초생맨틀(Primitive mantle) 값으로 연구지역 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류 및 압쇄 편마암류의 미량원소 성분을 규격화(Pearce, 1984)한 거미 성분도(spider diagram)상에서는 전체적으로 Ta, Nb, P, Ti가 상대적으로 다른 원소들보다 결핍되어 있으며 저장력 원소들(large ion lithophile elements)에 해당하는 불호정성 원소인 Rb, Ba, Th 및 U이 부화되어 있고 고장력 원소들(high field strength elements)이 결핍되어 있는 특징을 보여준다(Fig. 7). 한편, 상대적으로 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 넓은 성분 범위의 Ta-Nb 골(trough)을 보여주며, 압쇄 편마암류에서 U 정(+) 이상치가 관찰되는 것이 특징이다. 일반적으로 이러한 지화

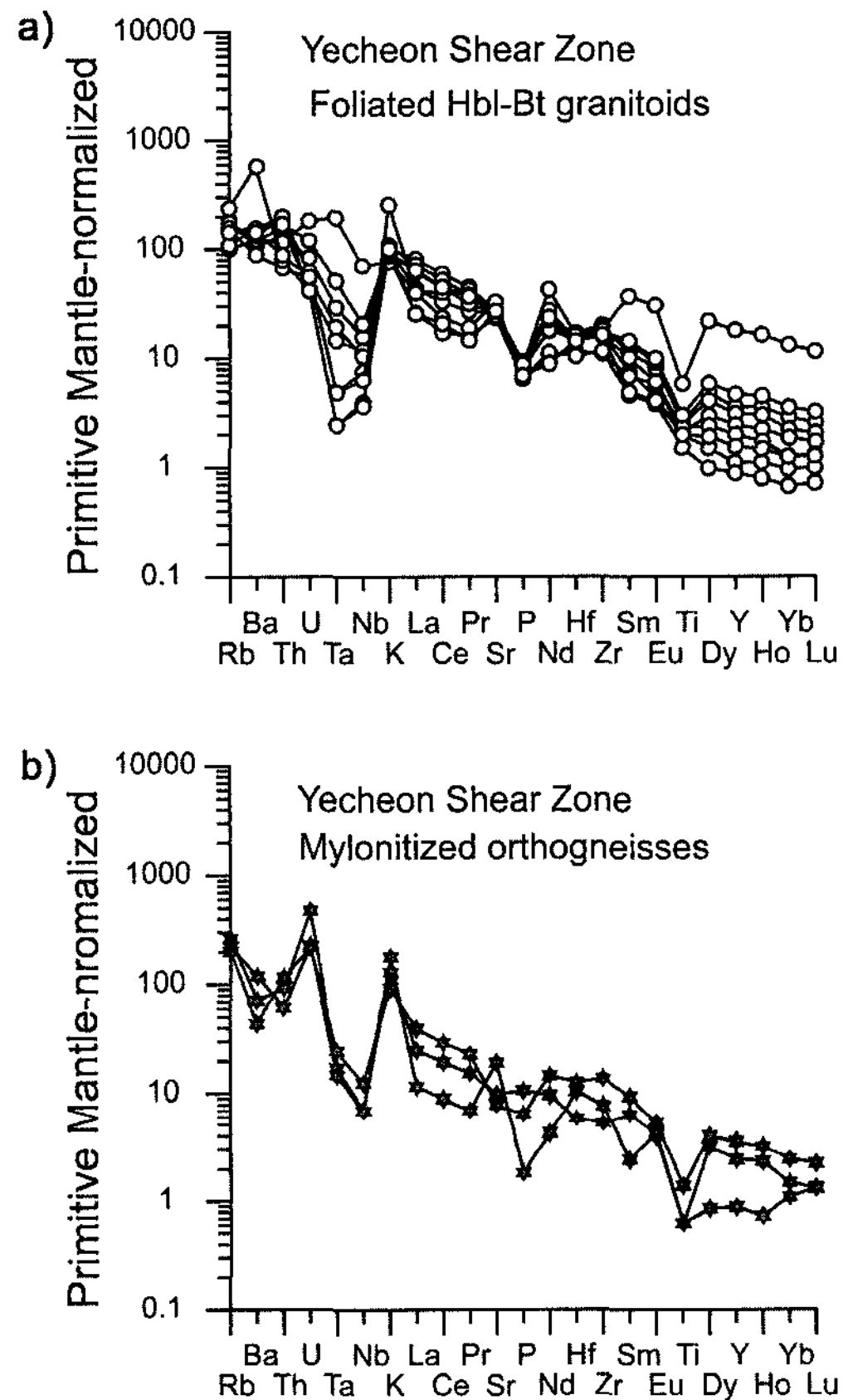


Fig. 7. Primitive-mantle-normalized (Sun and McDonough, 1989) trace element distribution diagrams for mylonitized Precambrian quartz-muscovite orthogneisses and foliated hornblende-biotite granitoids from the Myeongho area. Symbols as in Fig. 4.

학적 특징과 Ta-Nb 골(trough)은 전형적인 활동성 대륙연변부의 호상형(Arc-type) 화강암류에서 잘 보여준다.

4. Rb-Sr 및 Sm-Nd 동위원소연구

주성분 및 미량원소 분석을 실시한 시료 중에서 9개의 암석표품을 선정하여 Sr 및 Nd 동위원소 분석을 실시하였다.

Sr 과 Nd 동위원소비는 대전 한국기초과학 지원연구원의 열이온화질량분석기(TIMs; thermal ionization mass spectrometer, VG54-30, Isoprobe-T)를 이용하여 Cheong and Chang(1997)가 사용한 동위원소 희석법으로 분석하였다. Rb는 정적인 모드로, Sm은 $^{152}\text{Sm}/^{147}\text{Sm}=1.7831$ 로 질량분별효과를 보정하면서 정적인 모드로 분석하였다. Sr과 Nd은 각각 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 과

$^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 로 질량분별효과를 보정하면서 동적인 모드(dynamic mode)로 분석하였다. Sr 동위원소의 표준물질인 NBS987의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.710246 ± 0.000003 ($N=30$, 2σ SE)이며, Nd동위원소의 표준물질인 La Jolla의 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비는 0.511839 ± 0.000004 ($N=23$, 2σ SE)이고, JNd-1의 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비는 0.512098 ± 0.000006 ($N=27$, 2σ SE)이었다. ϵ_{Sr} 과 ϵ_{Nd} 계산을 위한 CHUR(Chondritic Uniform Reservoir)의 현재 값은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7045$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}=0.0816$ 을 사용하였고(Faure, 1986), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 과 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 은 각각 0.512638과 0.1966를 이용하였다(Wasserburg *et al.*, 1981). Rb-Sr과 Sm-Nd 동위원소 자료는 Table 2에 나타냈다.

명호지역 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 분 석값은 0.716460~0.717203의 좁은 범위를 보이며, Rb와 Sr의 정량분석 결과(53.5~98.6 ppm과 448.0~556.7 ppm)로부터 계산된 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 비는 0.3090~0.6298의 범위를 가진다. Kim *et al.*(submitted)의 G3 암석표본으로부터 얻어진 187Ma(SHRIMP U-Pb 저어콘)의 관입연대로 계산된 Sr 초생값은 0.7154~0.7157의 매우 좁은 범위를 보이고 있다(Table 2). 비록, Lee *et al.*(1999)의 영주저반의 관입연대로 보고된 Rb-Sr 전암 동시선 연대가 267 ± 27 Ma로 U-Pb 계의 저어콘 연대인 쥐라기 연대와 많은 차이를 보여주며 잘못된 겉보기 연대로 추정되지만, Lee *et al.*(1999)에 의해 보고된 Sr 동위원소 조성은 서로 유사하다(Table 2). Sm과 Nd의 함량, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 비 및 결핍맨틀 Nd 모델연대($T_{\text{DM}}^{\text{Nd}}$)들은 Table 2에 나타내었다. 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 Nd와 Sm 함량은 각각 24.5~35.7 ppm과 4.01~8.03 ppm의 범위를 보여준다. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 비는 0.511540~0.511599의 범위를 보이고, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 비는 0.0899~0.1362의 범위를 보여준다. G3 암석표본으로부터 얻어진 관입연대(187Ma)를 적용하여 계산된 $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ 값은 -18.17~-19.09의 범위를 보여주며, Nd 결핍맨틀 모델연대 T_{DM} 은 대부분 1.96~2.20 Ga를 보여주지만 일부는 3.03-3.32 Ga의 오래된 기원물질의 유래를 보여주기도 한다(Table 2; Lee *et al.*, 1999; this study).

5. 토 의

5.1. 명호지역 엽리상화강암류와 압쇄편마암류의 암석성인 및 지구조 환경

연구지역을 포함한 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 관입시기는 쥐라기 초기(185~187 Ma)와 쥐라기 중기(169~171Ma)의 두 시기로 보고되어(Jin and Chang,

1999; Sagong *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2006; Kim *et al.*, submitted), 전반적인 관입시기 추정이 매우 모호하지만, 본 연구에서는 영주저반과 안동저반의 각섬석-흑운모 화강암류의 관입시기를 각각 187 Ma 및 185 Ma로 해석하였다. 예천전단대 내와 주변부에 분포하는 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류에 대해 관입연대(187 Ma)를 적용하여 계산된 $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ 값과 Sr 초생값은 이들 암석이 1.96~2.20 Ga에 형성된 상부 지각 기원물질로 유래했음을 지시한다(Fig. 8 and Table 2). 하지만, 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 상대적으로 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류보다 젊은 1.43~1.82 Ga의 하부지각 기원물질로 유래했음을 알 수 있다(Fig. 7 and Table 2; Lee *et al.*, 1999).

Pearce *et al.*(1984)과 Pearce(1996)의 Y+Nb 대 Rb의 조구조 판별도에 기존에 보고된 영주저반과 안동저반의 예천전단대 주변지역의 각섬석-흑운모 화강암류 자료(Lee *et al.*, 1998)와 본 연구에서 분석된 명호지역의 각섬석-흑운모 화강암류 자료를 도시하면 일부 시료가 다소 지구조 환경에서 벗어나지만 일반적으로 호상열도(volcanic arc) 환경의 영역에 도시된다(Fig. 9a). 또한 이들 자료에 대해 Harris *et al.*(1986)의 Rb/30-Hf-Ta \times 30의 조구조 판별도에 도시하면 일부 시료들이 다소 지구조 환경에서 벗어나지만 호상열도 환경에 도시된다(Fig. 9b). 한편, 전단대 내 압쇄편마암은 Y+Nb 대 Rb 및 Rb/30-Hf-Ta \times 30의 조구조 판별도상에서 호상열도 환경과 동시 충돌형 영역에 도시되는데 이는

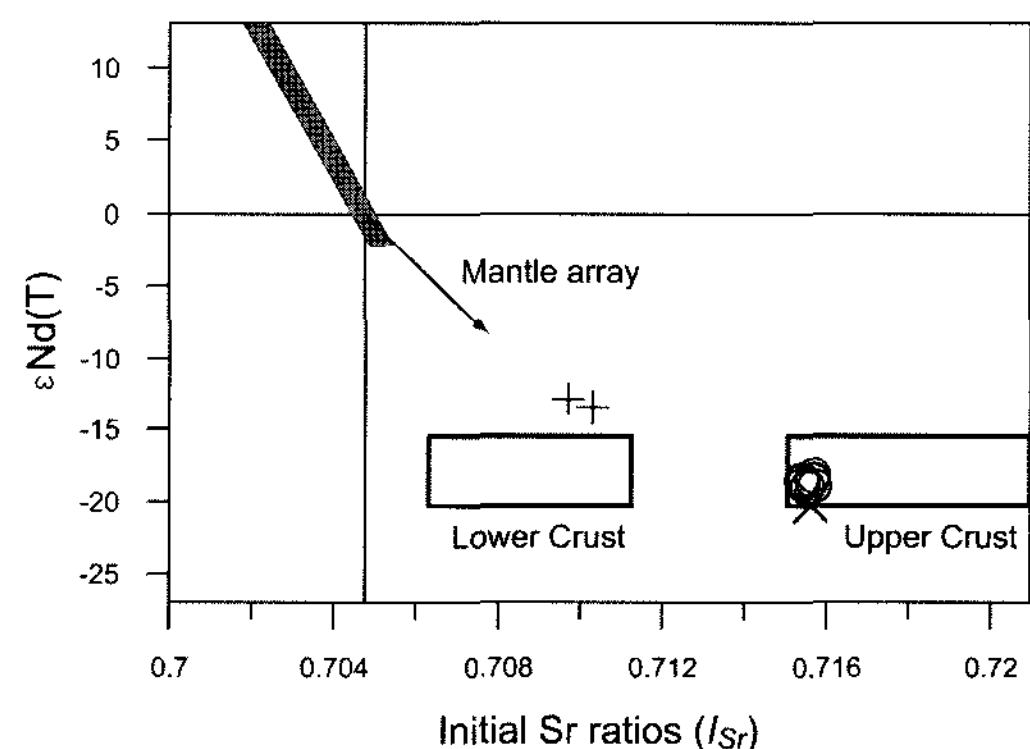


Fig. 8. Plot of $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ versus initial Sr ratios(I_{Sr}) plot for foliated hornblende-biotite granitoids in and near the Yecheon Shear Zone from the Myeongho area. The cross and plus symbols represent $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ versus initial Sr ratios(I_{Sr}) for hornblende-biotite granitoids from the Yeongju and Andong granitoid batholith(Lee *et al.*, 1999). Symbols are same as in Fig. 4.

Table 2. Sr-Nd isotopic data for the foliated hornblende-biotite granitoids from the Myeongho area in the Yecheon Shear Zone, South Korea.

Sample No.	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2(σ)	Isr	ε _{Sr} (T)a	Nd (ppm)	Sm (ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2(s)	ε _{Nd} (T)	TDM (Ga)
Present study														
G1	53.5	501.5	0.3090	0.716523	0.000011	0.7157	162.2(T=187 Ma)	34.3	5.31	0.0936	0.511540	0.000014	-18.96	2.04
G2	92.0	556.7	0.4786	0.716926	0.000010	0.7157	161.5(T=187 Ma)	25.4	4.01	0.0954	0.511578	0.000012	-18.47	2.03
G3	77.0	527.7	0.4224	0.716899	0.000011	0.7157	161.8(T=187 Ma)	27.9	4.35	0.0944	0.511582	0.000013	-18.17	2.00
#1	98.6	453.3	0.6298	0.717203	0.000025	0.7155	159.7(T=187 Ma)	24.5	4.18	0.1032	0.511552	0.000014	-18.97	2.20
#2	92.0	492.9	0.5404	0.716833	0.000014	0.7154	157.8(T=187 Ma)	24.7	3.99	0.0975	0.511579	0.000015	-18.49	2.07
#3	73.1	547.0	0.3868	0.716560	0.000020	0.7154	158.3(T=187 Ma)	35.7	8.03	0.1362	0.511609	0.000014	-18.83	3.03
#4	78.9	540.9	0.4226	0.716519	0.000015	0.7154	157.8(T=187 Ma)	28.5	4.23	0.0899	0.511552	0.000012	-18.64	1.96
#7	90.0	448.0	0.5816	0.717186	0.000024	0.7155	159.9(T=187 Ma)	27.8	4.79	0.1044	0.511557	0.000011	-19.09	2.23
#8	78.0	489.9	0.4613	0.716968	0.000020	0.7156	161.3(T=187 Ma)	27.0	4.63	0.1039	0.511573	0.000012	-18.56	2.18
Yeongju hornblende-biotite granitoid (Lee <i>et al.</i> , 1999)														
1522	92.2	507.0	0.5263	0.717028		0.7156	161.1(T=187 Ma)	24.2	5.6	0.1399	0.511538		-20.31	3.32
Andong hornblende-biotite granitoid (Lee <i>et al.</i> , 1999)														
1412	34.0	1012.0	0.0972	0.710070		0.7097	77.1(T=185 Ma)	38.7	5.7	0.0890	0.511985		-12.90	1.43
1503	71.3	514.0	0.4014	0.711327		0.7103	85.0(T=185 Ma)	22.7	3.9	0.1038	0.511834		-13.50	1.82

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios were corrected for mass fractionation relative to ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194

Calculated from CHUR value: ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.7045(Faure, 1986)

ε_{Nd}(0)=[(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{sample}/0.512638-1]×10⁴

T_{DM}=1/λ×n{1 + [(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{sample}-0.51315]/[(¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{sample}-0.2137]} λ=6.54×10⁻¹²year⁻¹.

ε_{Nd}(t)=[(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{sample} - (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR} - t]×10⁴

Intrusion ages of Yeongju hbl-bt granitoids=187 Ma, SHRIMP U-Pb zircon age (Kim *et al.*, submitted) and 169-171 Ma, IDTIMS U-Pb sphene age (Sagong *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2006)

Intrusion ages of Andong hbl-bt granitoids=185 Ma, IDTIMS U-Pb sphene age (Sagong *et al.*, 2005)

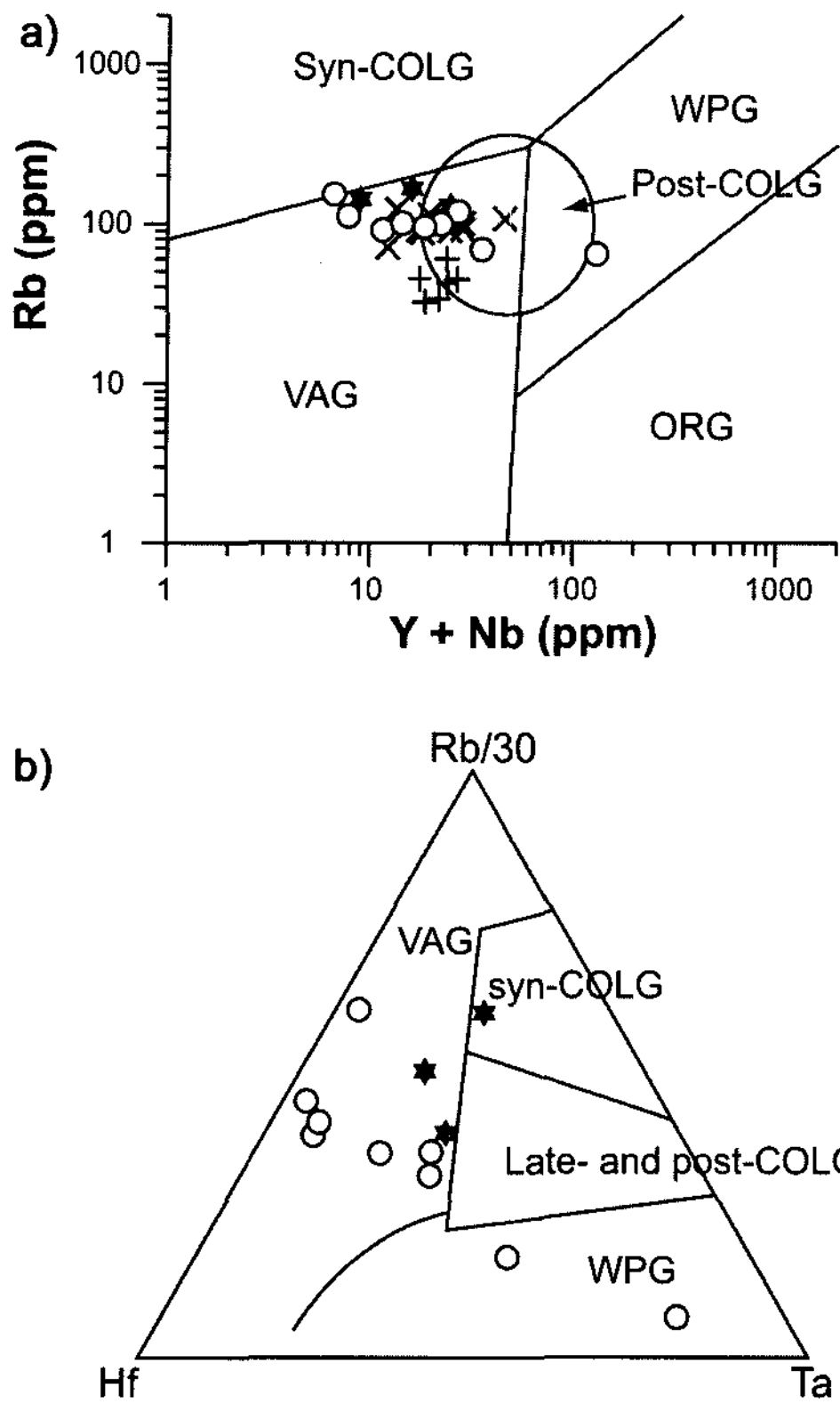


Fig. 9. Plot of (a) Rb vs. Y+Nb(Pearce *et al.* 1984) and (b) Rb/30-Hf-Ta \times 3(Harris *et al.*, 1986) tectonic division diagrams. VAG, volcanic arc granite; syn-COLG, syn-collisional granite; Late- and post-COLG, late- and post-collisional granite; ORG, oceanic ridge granite; WPG, within-plate granite. Symbols are same as in Fig. 4.

경기육괴 및 영남육괴의 기저암의 특징과 유사하다(Lee *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008). 전반적으로 Sr-Nd 동위원소 자료와 지화학 성분의 특성은 영주 및 안동 저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류가 쥐라기 초기 (187~185 Ma)에 대륙연변부의 호상부분에서 해양지각의 섭입동안 안동저반의 각섬석-흑운모 화강암류는 하부지각, 영주저반의 각섬석-흑운모 화강암류는 상부지각에서 서로 다른 특성을 갖는 기원물질로부터 형성된 마그마로부터 생성되었음을 지시해 주고 있다.

한편, 연구지역의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 분별 결정화(Fractional Crystallization, FC) 양상을 보여주며(Fig. 10a), 전단대 바로 주변부의 암석이 전단대 인근 지역보다 후기 전단영향에 의해 분별 결정화가 크게 보여주지만 이는 전단작용 시 일어난 재결정화에 의한 겉보기 양상일 가능성이 있다. 일반적으로, 연구지역을 포함한 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류

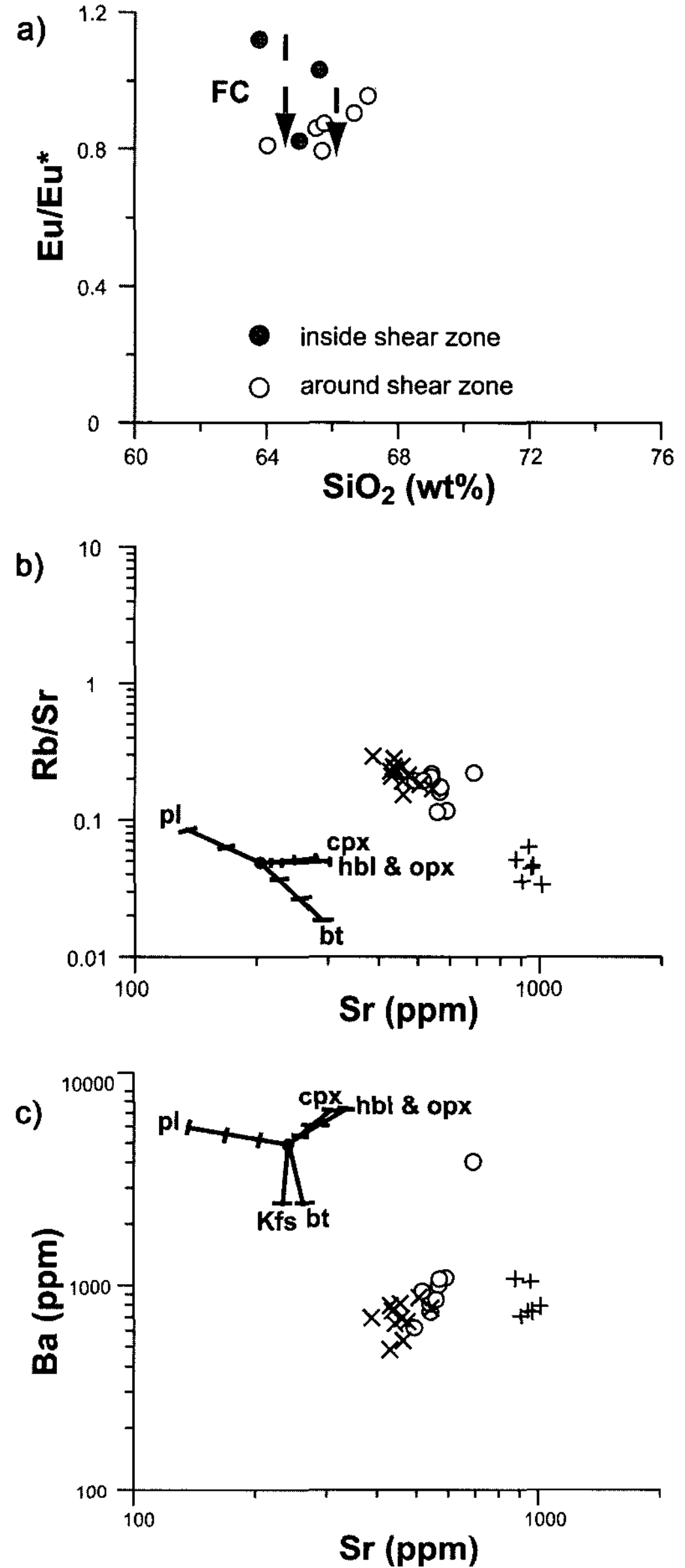


Fig. 10. Plot of (a) Sr vs. Eu/Eu*, (b) Sr vs. Rb/Sr and (c) Sr vs. Ba diagrams showing hornblende and biotite-dominated fractionation in Yeongju foliated hornblende-biotite granitoids and biotite-feldspar dominated fractionation in Andong foliated hornblende-biotite granitoids. Symbols are same as in Fig. 4.

는 흑운모와 각섬석의 강한 분별(Fig. 10b and c)이 관찰되며, 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 흑운모 및 K-장석을 포함한 장석의 분별(Fig. 9b and c)이 관찰되는 것으로 보아 앞에서 서술한 두 저반의 서로 다른 암석성인 및 지구조 환경을 잘 대변해 준다.

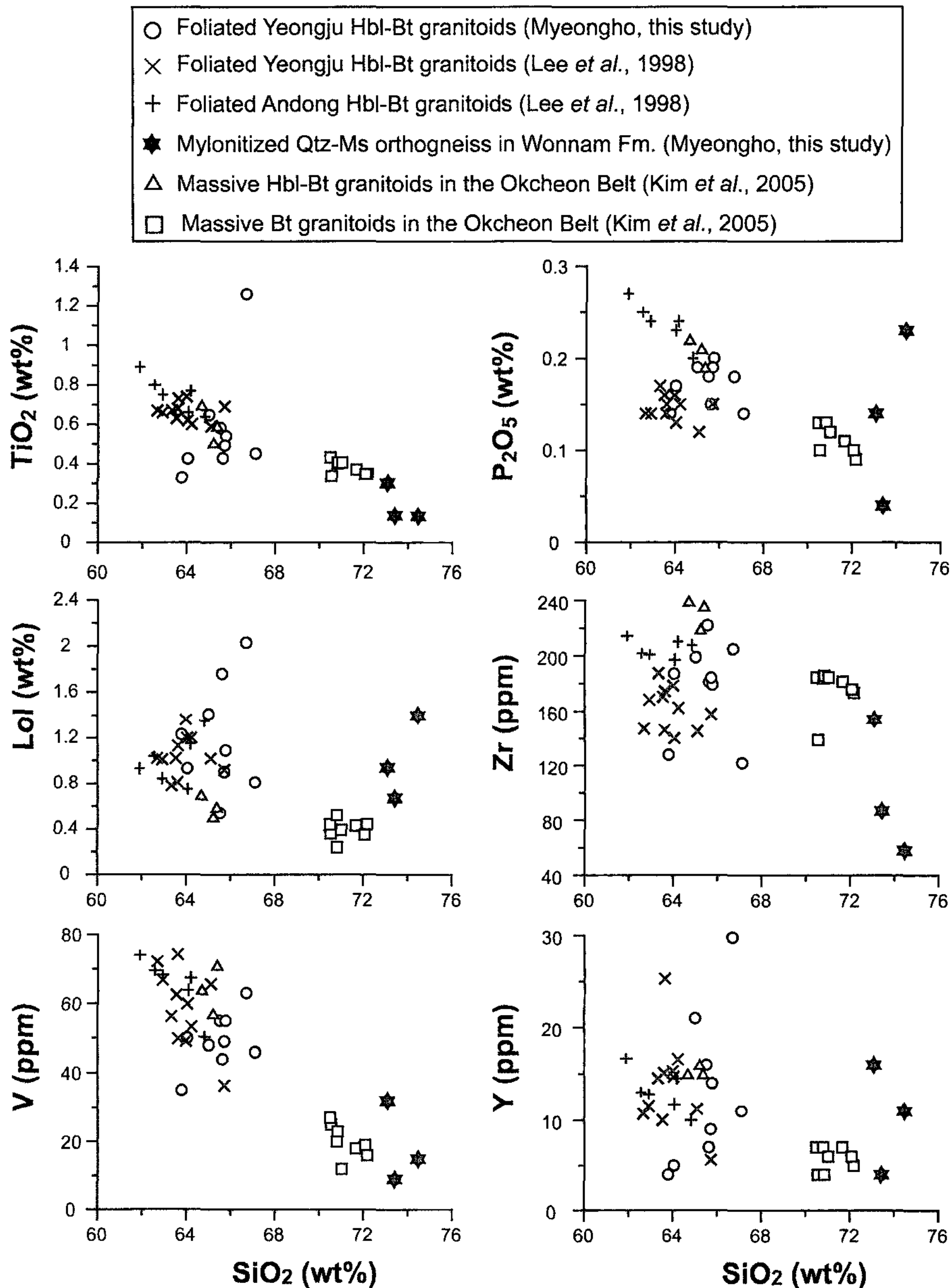


Fig. 11. Plot of (a) TiO_2 , (b) P_2O_5 , (c) LOI, (d) Zr, (e) V and (f) Y vs. SiO_2 diagrams showing geochemical variations of hornblende-biotite granitoids in between the shear zone and out of area. The open box and triangle symbols represent massive biotite and hornblende-biotite granitoids from the northern area of the Okcheon Belt(Kim *et al.*, 2005a).

5.2. 전단대의 전단운동에 의한 지화학적 거동 및 해석

영주저반에 분포하는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류를 기존 및 현재의 연구들과 함께 종합해 보면, 예천전단대의 전단정도는 전단대에 가까울수록 강했을 것으로 판단되며, 이는 야외조사 및 현미경 관찰에서 잘 증명된다. 또한 전단대의 점진적인 전단 변형작용동안

광범위한 입자 크기 감소가 모든 광물에 대해 일어났으며, 석영과 흑운모는 주로 동적 재결정작용에 의해 입자 크기 감소하고, 장석은 동적 재결정작용, 미단열작용, 변성 반응, 밀메카이트(myrmekite) 생성 등의 복합적인 변형작용 과정을 통해 변화하는 것이 인지된다. 이러한 분쇄암화작용동안 암석 내에 부피 감소가 일어나 전단대 내에서는 지화학 성분경향은 Mg, Fe,

Ti, Ca, Y, Zr, P 및 V가 증가하고 Si, Rb 및 Sr이 감소하며 Al 혹은 Rb이 일정한 경향을 보이기도 한다 (O'Hara and Blackburn, 1989). 하지만, 연구지역을 포함한 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 전단대에 가까워질수록 특정 원소들(Ti, P, Zr, V 및 Y)의 변화경향이 관찰되지 않는다(Fig. 11). 이러한 원인으로, 전형적인 옥천대의 쥐라기 각섬석-흑운모 화강암류와 흑운모 화강암류의 지화학 성분(Kim *et al.*, 2005)과 비교해 볼 때, 상대적으로 영주 저반의 각섬석-흑운모 화강암류는 높은 LOI(loss on ignition) 함량을 가지며(Fig. 11), 이는, 이들 암체가 전반적으로 많은 유체를 가지고 있음을 지시한다, 결과적으로 많은 유체를 가지고 있는 암석에서 전단운동 변형동안 유체의 흐름에 의한 질량 전달(mass transfer)이 전단대 내부부터 전단대 외부와 별 차이가 없어 암석 내의 부피변화 및 지화학 변질들(alterations)을 야기 시키지 않았을 가능성이 있다(Steyrer and Sturm, 2002). 하지만 좀 더 자세한 연구가 예천전단대는 물론 순창 및 전주 전단대에도 수행되어야 할 것이다.

6. 결 론

연구진의 SHRIMP U-Pb 연구에 의해 관입시기(187 Ma) 및 전단시기(179~178 Ma)가 규명된 예천전단대 영주저반에 속하는 명호지역 전단대 내 압쇄편마암과 주변부에 분포하는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류를 대상으로 지구화학 및 Sr-Nd 동위원소를 분석하였으며, 예천전단대 주변, 연구지역을 포함한 안동저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류의 Sr-Nd동위원소 자료와 지화학 성분의 특성은 이들 암류가 쥐라기 초기(187 Ma)에 대륙연변부의 호상부분에서 해양지각의 섭입동안 상부지각에서 1.96~2.20 Ga의 기원물질로부터 형성된 마그마로부터 생성되었음을 지시해 주고 있다. 한편, 전단대 내 압쇄편마암은 Y+Nb 대 Rb 및 Rb/30-Hf-Ta×30의 조구조 판별도상에서 호상열도 환경과 동시 충돌형 영역에 도시되는데 이는 경기육괴 및 영남육괴의 기저암의 특징과 유사하다. 연구지역을 포함한 영주저반의 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류는 전단대에서 멀어지면서 변형에 의한 특정 원소들(Ti, P, Zr, V 및 Y)의 변화경향이 관찰되지 않는다. 이러한 원인으로, 많은 유체를 가지고 있는 엽리상 각섬석-흑운모 화강암류에서는 전단운동 변형(179~178 Ma)동안 전단대 내와 외부의 유체의 흐름에 의한 물질 전달이 동일하게 일어나 암석 내의 부피변화 및 지화학 변질

들을 야기 시키지 않았을 것으로 추정된다.

사 사

본 연구는 학술진흥재단의 2006년도 학술연구교수(KRF-2006-353-C00058)와 2007년도 정부재원 교육인적자원부 학술연구조성사업비(KRF-2007-314-C00296)의 프로그램들에 의해 지원되었다.

참고문헌

- Chang, T.W. (1990) Relative timing of shear zone formation and granite emplacement in the Yechon Shear Zone, Korea. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 23, p. 453-463.
- Chang, T.W. (1991) On the microstructures of mylonitic rocks-with special reference to Yechon Shear Zone, Korea. *Jour. Geolo. Soc. Korea*, v. 27, p. 177-190 (in Korean with English abstract).
- Cheong, C.S. and Chang, H.W. (1997) Sr, Nd, and Pb isotope systematics of granitic rocks in the central Ogcheon Belt, Korea. *Geochem. Jour.*, v. 31, p. 17-36.
- Cheong, C.S., Kee, W.-S., Jeong, Y.-J. and Jeong, G.Y. (2006) Multiple deformations along the Honam shear zone in southwestern Korea constrained by Rb-Sr dating of synkinematic fabrics: implications for the Mesozoic tectonic evolution of northeastern Asia. *Lithos*, v. 87, p. 289-299.
- Cho, K.H., Takagi, H. and Suzuki, K. (1999) CHIME monazite age of granitic rocks in the Sunchang shear zone, Korea: timing of dextral ductile shear. *Geosci. Jour.*, v. 3, p. 1-16.
- Choo, S.H. and Kim, S.J. (1986) Rb-Sr age determination on the Ryeongnam Massif (II): granitic gneisses and gneissic granites in the southwestern Jirisan region. *Research Report KR-86-7*, Korea Inst. Energy and Resources, Seoul, pp. 7-33 (in Korean).
- 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.*, v. 52, p. 175-235.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.-P. (1991a) Early Middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon Belt (South Korea): A new insight on the Paleozoic buildup of East Asia. *Tectonics*, v. 10, p. 1130-1151.
- Cluzel, D., Lee, B.J. and Cadet, J.-P. (1991b) Indosinian dextral ductile system and synkinematic plutonism in the southwest of the Ogcheon belt (South Korea). *Tectonophysics*, v. 194, p. 131-151.
- Faure, G. (1986) *Principles of isotope geology*. John Wiley and Sons, 589p.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. and Frost, C.D. (2001) A geochemical classification for granitic rocks. *Jour. Petrol.*, v. 42, p. 2033-2048.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G. (1986) *Geochemical characteristics of collision-zone mag-*

- matism. In: Coward, M.P., Ries, A.C. Eds., *Collision Tectonics*. Geol. Soc. London, Special Pub., v. 19, p. 67-68.
- Hwang, S.K., Chang, T.W., Kim, J.M. and Lee, S.K. (1999) Intrusive phases and igneous processes in the Yeongju batholith. *Econ. Environ. Geol.*, v. 32, p. 669-688.
- Jin, M.-S. and Jang, B.-A. (1999) Thermal history of the Late Triassic to Early Jurassic Yeongju-Chunyang granitoid in the Sobaegsan Massif, South Korea, and its tectonic implication. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 35, p. 189-200.
- Kim, C.-B. and Turek, A. (1996) Advances in U-Pb zircon geochronology of Mesozoic plutonism in the southwestern part of Ryeongnam massif, Korea. *Geochemi. Jour.*, v. 30, p. 323-338.
- Kim, J.H. and Kee, W.S. (1994) Structure characteristics of the Soon-chang Shear Zone, Korea. *Jour. Southeast Asian Earth Sci.*, v. 9, p. 417-428.
- Kim, O.J., Hong, M.S., Kim, K.T. and Park, H.I. (1963) Geological map of Samgun Sheet (1:50,000) and explanatory text. Geol. survey Korea, p. 1-36 (in Korean with English summary).
- Kim, S.W., Oh, C.W., Choi, S.G., Ryu, I.-C. and Itaya, T. (2005a) Ridge subduction-related Jurassic plutonism in and around the Okcheon Metamorphic Belt, South Korea, and Implications for Northeast Asian tectonics. *Int. Geol. Rev.*, v. 47, p. 248-269.
- Kim, S.W., Oh, C.W., Hyodo, H., Itaya, T. and Liou, J.G. (2005b) Metamorphic evolution of the Southwest Okcheon Metamorphic Belt in South Korea and Its regional tectonic implications. *Int. Geol. Rev.*, v. 47, p. 344-370.
- Kim, S.W., Williams, I.S., Kwon, S. and Oh, C.W. (2008) SHRIMP zircon geochronology and geochemical characteristics of metaplutonic rocks from the south-western Gyeonggi Block, Korea: implications for Paleoproterozoic to Mesozoic tectonic links between the Korean Peninsula and eastern China. *Precamb. Res.*, v. 162, p. 475-497.
- Kwon, S.-T. and Ree, J.-H. (1997) A note on the age of the Honam shear zone. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 33, p. 183-188.
- Lee, H.C. (1986) A study on the regional metamorphism of the metamorphic rocks in An-dong area, Kyung-sangpook-Do. Master thesis, Seoul National Uni., pp. 1-41.
- Lee, J.I., Jwa, Y.-J., Park, C.-H., Lee, M.J. and Moutte, J. (1998) Petrology and geochemistry of the Youngju and Andong granites in the northeastern Yeongnam Massif, Korea. *Geosci. Jour.*, v. 2, p. 1-14.
- Lee, J.I., Jwa, Y.-J., Park, C.-H., Lee, M.J., Moutte, J. and Kagami, M. (1999) Sr and Nd isotopic compositions of late Paleozoic Youngju and Andong granites in the northeastern Yeongnam Massif, Korea. *Geochem. Jour.*, v. 33, p. 153-165.
- 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 Block Korea: Geochemical and isotopic constraints in East Asian crustal formation history. *Precamb. Res.*, v. 139, p. 101-120.
- Lee, S.R., Lee, B.J., Cho, D.L., Kee, W.S., Koh, H.J., Kim, B.C., Song, K.Y., Hang, J.H. and Choi, B.Y. (2003) SHRIMP U-Pb zircon age from granitic rocks in Jeonju shear zone: implications for the age of the Honam shear zone. *Abstract volume for proceedings of the Annual Joint Conference*, Minerol. Soc. Korea and Petrol. Soc. Korea, p. 55 (in Korean).
- O'Hara, K. and Bkackburm, W.H. (1989) Volum-loss model for trace element enrichments in mylonites. *Geology*, v. 17, p. 524-527.
- Otoh, S., Jwa, Y.J., Nomura, R. and Sakai, H. (1999) A preliminary AMS (anisotropy of magnetic susceptibility) study of the Namwon granite, southwest Korea. *Geosci. Jour.*, v. 3, p. 31-41.
- Otoh, S. and Yanai, S. (1996) Mesozoic inverse wrench tectonics in far east Asia: examples from Korea and Japan. In: Yin, A., Harrison, M. (Eds.), *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge Univ. Press, Cambridge pp. 401-419.
- Park, K.-H., Lee, H.-S., Song, Y.-S. and Cheong, C.-S. (2006) Sphene U-Pb ages of the granite-granodiorites from Hamyang, Geochang and Yeongju areas of the Yeongnam Massif. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, v. 15, p. 39-48 (in Korean with English abstract).
- Peacock, M.A. (1931) Classification of igneous rock series. *Jour. Geol.*, v. 39, p. 54-67.
- Perce, J.A. (1996) Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, v. 19, p. 120-125.
- Perce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, v. 25, p. 956-983.
- Ree, J.-H., Kwon, S.-H., Park, Y., Kwon, S.-T. and Park, S.-H. (2001) Pre- and post-tectonic emplacements of the granitoids in the central-southern Okchon belt, South Korea: implications for the timing of the strike-slip shearing and thrusting. *Tectonics*, v. 20, p. 850-867.
- Sagong, H., Kwon, S.-T. and Ree, J.-H. (2005) Mesozoic episodic magmatism in South Korea and its tectonic implication. *Tectonics*, v. 24, doi: 10.1029/2004TC001720.
- Son, C.M. and Kim, S.J. (1963) Geological map of Chunyang sheet (1:50,000) and explanatory text. Geol. Survey Korea, pp. 1-28 (in Korean with English summary).
- Steyrer, H.P. and Sturm, R. (2002) Stability of zircon in a low-grade ultramylonite and its utility for chemical mass balancing: the shear zone at Miville, Switzerland. *Chem. Geol.*, v. 187, p. 1-19.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Soc. Special Publ., v. 42, p. 313-345.
- Turek, A. and Kim, C.-B. (1995) U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryeongnam massif, Korea. *Geochem. Jour.*, v. 29, p. 243-258.
- Wasserburg, G.J., Jacobson, S.B., DePaolo, D.J., McCulloch, M.T. and Wen, T. (1981) Precise determination of Sm/Nd ratios, Sm and Nd isotopic abundances in standard solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 45,

p. 2311-2323.
Yanai, A., Jwa, Y.J., Otoh, S., Yamakita, S. and Park, B.S.
(1993) Honam intra-arc transcurrent fault and Jurassic
geodynamics in east Asia. In: Xu, J. (ed.), The
Tancheng-Lujiang wrench fault system. John Wiley
and Sons, New York pp. 213-224.

Yanai, S., Park, B.S. and Otoh, S. (1985) The Honam
shear zone (South Korea); deformation and tectonic
implication in the Far East. *Scient. Pap. College Arts
Sci., Tokyo Univ.*, v. 35, p. 181-210.

2008년 4월 15일 원고접수, 2008년 5월 28일 게재승인.