

우리나라 트라이아스기 화강암의 스위트/슈퍼스워드 분류

좌용주^{1,*} · 김종선² · 김건기¹

¹경상대학교 지구환경과학과, ²부산대학교 지질환경과학전공

Granite Suite and Supersuite for the Triassic Granites in South Korea

Yong-Joo Jwa^{1,*}, Jong-Sun Kim² and Kun-Ki Kim¹

¹Department of Earth & Environmental Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

²Department of Geology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

요약: 이 연구에서는 화강암 스위트와 슈퍼스워드의 개념을 사용하여 우리나라 트라이아스기 화강암을 대상으로 시공간적으로 밀접하게 관련된 화강암체들을 계층적으로 구분하였다. 옥천대(서부 영남육괴)의 트라이아스기 화강암 중에서 백록화강암과 점촌화강암은 하나의 백록 스위트로 지정되며, 청산 화강암은 청산스워드 로 지정된다. 이 두 스위트는 근원물질의 유사성과 기재적 및 지구화학적 상이성 등으로부터 하나의 슈퍼스워드, 즉 백록 슈퍼스워드 로 묶을 수 있다. 경상분지의 트라이아스기 화강암인 영덕화강암, 영해화강암, 청송 화강암은 각각 독립적인 영덕 스위트, 영해 스위트, 청송 스위트로 지정된다. 이 세 스위트는 근원물질의 유사성과 기재적 및 지구화학적 상이성 등으로부터 하나의 슈퍼스워드, 즉 영덕 슈퍼스워드 로 묶을 수 있다. 서부 영남육괴의 백록 슈퍼스워드와 경상분지의 영덕 슈퍼스워드는 Nd-Sr 동위원소 특징에서 아주 뚜렷한 차이를 보이는데, 이는 두 슈퍼스워드를 만든 화강암질 마그마의 근원물질이 서로 달랐음을 지시한다. 백록 슈퍼스워드는 그 근원물질이 영남육괴를 이루는 지각물질들 사이의 혼합으로 설명되는 반면, 영덕 슈퍼스워드의 근원물질은 결핍된 맨틀과 영남육괴 지각물질의 혼합으로 설명된다. 동시기 화성활동의 산물인 백록 슈퍼스워드와 영덕 슈퍼스워드에서 화강암질 마그마의 근원물질에 차이를 보이는 것은 마그마 생성의 장소가 지체구조적으로 상이하였음을 지시하는 것이다.

주요어: 트라이아스기 화강암, 백록 스위트, 청산 스위트, 영덕 스위트, 영해 스위트, 청송 스위트, 백록 슈퍼스워드, 영덕 슈퍼스워드

Abstract: Using the concept of granite suite/supersuite we hierarchically divided the Triassic granites in South Korea which have spatio-temporally close relationships each other. Among the Triassic granites in the Okcheon belt (western Yeongnam massif), the Baegrok granite and the Jeomchon granite can be grouped into one suite, the Baegrok suite, whereas the Cheongsan granite into the Cheongsan suite. These two suites can be grouped again into a larger supersuite, the Baegrok supersuite, on the basis of the similarity in the source rocks and the contrasts in the petrographic and geochemical characteristics. Three Triassic granites in the Gyeongsang basin - the Yeongdeok granite, the Yeonghae granite, and the Cheongsong granite - can be grouped into the Yeongdeok suite, Yeonghae suite and Cheongsong suite, respectively. These three suites can be grouped again into a larger supersuite, the Yeongdeok supersuite, on the basis of the similarity in the source rocks and the contrasts in the petrographic and geochemical characteristics. Nd-Sr isotopic signatures for the Baegrok supersuite are quite distinct from those for the Yeongdeok supersuite, indicating that the source materials of each granitic magma were not identical. The source rocks for the Baegrok supersuite are thought to be a mixture of two crustal components of the Yeongnam massif, whereas those for the Yeongdeok supersuite to be a mixture of the depleted mantle with the crustal components of the Yeongnam massif. The fact that the two contemporaneous granite supersuites were derived from the different sources can be explained by the difference of the tectonic environments where the granitic magmas were produced.

Key words: Triassic granites, Baegrok suite, Cheongsan suite, Yeongdeok suite, Yeonghae suite, Cheongsong suite, Baegrok supersuite, Yeongdeok supersuite

*Corresponding author: jwayj@gsnu.ac.kr, Tel: 82-55-751-6004

서 론

우리나라 중생대 화강암에 대한 일반적 구분은 트라이아스기의 송림변동, 쥐라기의 대보조산운동 그리고 백악기의 불국사변동에 수반되어 나타나는 화강암류를 각각 송림 화강암, 대보 화강암, 불국사 화강암 등으로 취급하는 것이다(Lee, 1974). 그러나 각 시대의 화강암들 내에서도 매우 다양한 암체들이 존재하고 또 기원이 다른 화강암류도 많이 존재한다. 따라서 화강암에 대한 일반적 구분은 보다 구체적인 지각변동의 역사를 이해하는데 큰 도움이 되지 못한다. 한편, 화강암이 단순 관입체라고 하는 일반적 인식은 이 암석을 암석층서적으로 이해하는데 걸림돌이 되어왔다. 퇴적층서는 동일 층위를 찾아 연결시킴으로써 광범위한 층서구분이 가능하지만, 화강암의 경우는 관입의 법칙에 따라 기반 층서와의 선후관계만을 살피고 여러 관입체의 시공간적 연결성을 살피지 않음으로써 광범위한 암석층서의 설정이 시도된 예가 없다. 국내의 화강암 연구는 전반적인 층서 연구와는 별개로 진행되어 왔으며, 결과적으로 화강암의 관입시기와 퇴적층서가 부조화적인 사례가 상당수에 이른다. 예를 들어 경상분지 백악기 화강암 중 진동층을 관입한 마산화강암은 그 관입연대가 100 Ma 정도로 알려져 왔지만(Lee *et al.*, 1995) 진동층의 연대는 약 85 Ma로 보고되어(김현주와 백인성, 2001), 관입한 화강암과 피관입 퇴적층서 사이에 시기적 불일치가 나타난다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 화강암과 주변암 사이의 상대적인 암석층서의 설정이 필요하고 이를 위해 화강암체에 대한 계층적 구분이 요구된다.

화강암 형성에 대한 하나의 에피소드를 생각해 볼 때, 화강암체의 형성은 시공간적으로 유사할 것으로 기대할 수 있는데, 지각변동의 제한된 시기와 장소가 바로 화강암질 마그마의 생성에서 배태, 고결에 이르기까지의 시간과 공간을 제어하기 때문이다. 하지만 동일한 시간과 공간의 차원에서 일어난 산성 화성활동이라 해도, 항상 타입과 계열이 동일할 수는 없다. 왜냐하면 화강암질 마그마가 발생하는 지각의 불균질성, 부분용융 정도의 차별성, 그리고 초생 마그마와 분화된 파생 마그마 사이의 복잡한 상관 관계 등이 항상 존재하기 때문이다. 따라서 화강암질 마그마가 경험하는 마그마 과정과는 별도로, 그 근원물질의 특징으로부터 시공간적으로 연관된 화강암체를 계층적으로 구분하는 것이 계층적 구분(hierarchical division)의 기본 방법이다. 시공간적으로 연관된 화성활동의 경우 파생되는 마그마의 기원이 거의 같을 것이며, 구분된 계층적 시스

템은 지각변동의 시간과 공간을 나타내게 되어 바로 암석층서와도 유사 의미를 가지게 될 것으로 생각한다.

이 연구는 우리나라에 분포하는 중생대 트라이아스기 화강암을 대상으로 시공간적으로 밀접히 관련된 화강암체들을 계층적으로 구분하고, 그들이 나타내는 암석성인적 특징을 고찰하는 것이다. 계층적 구분에 사용되는 여러 개념들을 검토하고, 그 중에서 화강암질 마그마의 기원에 따른 구분에 가장 적합한 스위트-슈퍼스워드의 개념을 사용하여 중생대 화강암체의 계층적 시스템을 마련해 보았다.

화강암 스위트/슈퍼스워드의 이론적 배경

스워드/슈퍼스워드의 정의

미국 지질조사소의 용어사전에 의하면 스위트(suite)란 ‘외관상 동일 마그마기원 화성암의 조합(a set of apparently comagmatic igneous rocks)’을 뜻한다(Bates & Jackson, 1987). 이 용어는 최소 60여 년 간 관련 마그마들의 결정작용으로 생성된 일련의 암석에 적용되어 왔다. 화강암의 경우 관련 암체들에 스위트의 개념을 적용시킨 사례는 호주의 예에서 많이 찾아볼 수 있다. White *et al.*(2001)은 호주의 화강암 스위트를 정리하면서 그 개념의 정의를 분명히 하고 있다. 그들에 따르면, 스위트는 조직, 광물학적 및 조성적 특성이 유사하거나 또는 야외산상, 기재, 화학 조성에 이르는 일련의 특성이 유사하게 나타나는 화성암체의 그룹이다. 그런데 이런 특징을 나타내는 암체들, 즉 동일한 스위트의 화강암류는 거의가 유사한 성인을 가지며, 따라서 그들이 동일한 근원물질로부터 유래되었을 가능성을 내포한다. 따라서 스위트가 다르다는 것은 근원물질이 다름을 반영한다고 생각해도 좋을 것이다. 화강암 스위트를 설정하기 위해 화강암체를 조사할 경우, 스위트 내의 암체들이 반드시 동일 연대일 필요는 없으나, 기원이 유사하기 때문에 그 연대도 유사할 것이라는 상관은 항상 존재한다.

앞서 언급한 것처럼 화강암체들에서 뚜렷한 조직적, 모드적 및 지구화학적 양상이 공유되면 하나의 스위트로 지정된다(White *et al.*, 2001). 그러나 조성적 연속성이 매우 뚜렷한 스위트와는 달리 부분적으로 연속성이 결여된 암체들의 경우 슈퍼스워드(supersuite)로 지정된다. 그리고 슈퍼스워드에는 하나 이상의 스위트가 포함된다. 예를 들면 호주의 라클란 습곡대에 분포하는 베가저반(Bega Batholith)의 경우 140여 개의 개별 암체가 존재하지만 40개 이상의 스위트와 8개의 슈퍼스워드로 구분되어 있다. 한편, 스위트는 조성 변화의

양상에 따라 단순 스위트(simple suite)와 복잡 스위트(intricate suite)로 나뉘는데, 전자는 상관이 매우 높은 직선적 변화를 나타내는 반면, 후자는 부분적으로 직선적 변화를 보이지 않는 보다 복잡한 변화를 나타내는 경우이다.

한편, 많은 화강암체를 스위트와 슈퍼스위트로 묶는 것이 항상 용이한 것은 아니다. 따라서 스위트와 슈퍼스위트로 묶여지지 않는 암체도 존재할 것인데, 야외 산상, 암석학적 특징 화학조성 등의 자료가 완전히 갖추어지지 않거나, 또는 자료들이 실제로 너무 복잡하게 나타나는 경우일 것이다. 그럴 경우의 암체는 단순히 '화강암(granites)' 또는 '복합체(complex)'라는 통상적인 명칭으로 남겨두게 된다.

스위트/슈퍼스위트의 적용과 해석

야외산상과 기재적 정보, 지구화학적 정보, 관입연대의 정보 등이 종합적으로 획득되면 우리는 유사 지질 시대 동안에 관입, 배태된 화강암체의 윤곽을 그려낼 수 있다. 그리고 특정 시기 화강암체들 중에서 그 기원이 동일하다고 생각되는 암체들을 묶을 수 있다. 이렇게 그룹화된 암체들은 스위트 또는 슈퍼스위트로 설정될 것이다.

스위트와 슈퍼스위트로 설정되기 위해서는 여러 암체들에서 전반적으로 산상과 기재적 양상이 거의 유사하게 나타나야 한다. 그러나 암체 내부의 부분적인 결정분화는 반드시 고려해야 한다. 일단 예비적으로 묶은 암체들에 대해서는 지구화학적 자료를 검토하여, 그 성인의 유사성을 면밀히 검토한다. 주성분원소와 미량성분 및 희토류원소의 함량변화에서 암체들 사이의 상관성을 체크한다. 이 상관성은 매우 중요한데, 동일 마그마 기원으로부터 유래된 암체들이라면 직선적이고, 연속적인 상관성을 가져야 한다. 이런 상관성은 마그마과정과는 독립적으로 해석되어야 한다. 왜냐하면 결정분화, 잔류암분화, 마그마혼합과정 모두에서 이런 상관성이 나타날 수 있으며, 화강암질 마그마의 경우 특히 SiO_2 70 wt% 이하에서 함량변화의 차이는 1차적으로 마그마 기원적 차이를 지시하기 때문이다.

야외 산상과 기재적 정보, 관입 연대의 정보 그리고 주성분, 미량성분, 희토류성분 등을 기초로한 화강암체의 계층적 구분이 스위트와 슈퍼스위트의 적용으로 이루어졌다면, 동위원소의 자료는 이를 검증하는 중요한 수단이 된다. 기본적으로 이 계층적 구분은 화강암질 마그마의 기원을 바탕으로 하기 때문이다.

우리나라 트라이아스기 화강암의 스위트/슈퍼스위트 분류

육천대(서부 영남육괴) 트라이아스기 화강암

육천대에 분포하는 트라이아스기 화강암으로는 청산암체, 백록암체 및 점촌암체가 있다. 이 화강암체들은 중부 육천대를 관통하는 South Korean Tectonic Line (경기육괴와 영남육괴의 지체구조 경계에 해당할 것으로 생각됨: Chough *et al.*, 2000; Ree *et al.*, 2001)의 남쪽에 위치하여 화강암질 마그마의 관입 기반이 영남육괴의 서부에 해당할 것으로 생각된다(Fig. 1). 따라서 아래에서는 청산, 백록, 점촌암체들을 서부 영남육괴 트라이아스기 화강암으로 부르기로 한다. 이 암체들의 연대는 Rb-Sr 전암연대, U-Pb 스피넬연대, U-Pb 저어른 연대 등에서 206~256 Ma를 나타낸다(권성택 외, 1998; Cheong & Chang, 1997; Kim *et al.*, 2003; Sagong *et al.*, 2005).

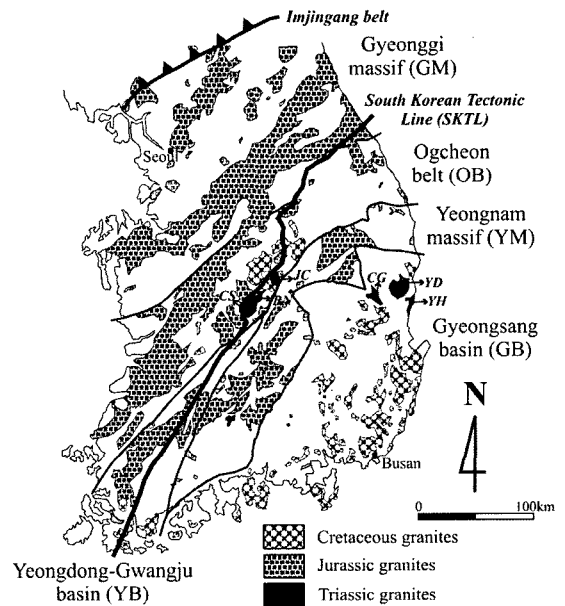


Fig. 1. Distribution of Mesozoic granites in South Korea. The locations of the Imjingang belt and the NE South Korean Tectonic Line (SKTL) were modified after Chough *et al.* (2000). The SW SKTL is designed on the basis of the distribution of the Paleozoic strata, which can be regarded as the lithologic boundary between the Gyeonggi massif and the Yeongnam massif. Abbreviations: BN, Baegrok granite; CS, Cheongsan granite; JC, Jeomchon granite; CG, Cheongsong granite, YD, Yeongdeok granite; YH, Yeonghae granite.

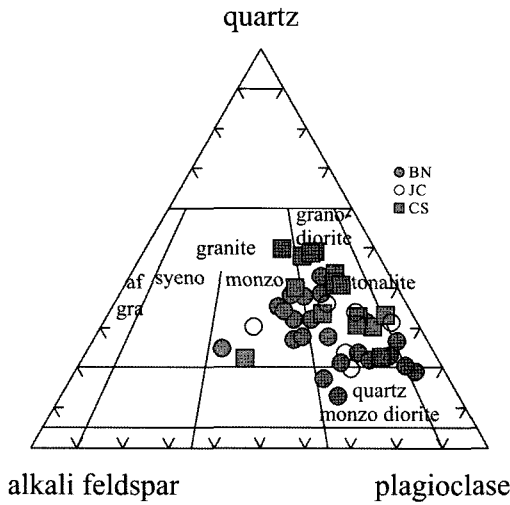


Fig. 2. Modal compositions (quartz-alkali feldspar-plagioclase) of the Triassic granites in the Okcheon belt (western Yeongnam massif). Symbols: solid circle, Baegrok granite (BN); open circle, Jeomchon granite (JC); solid square, Cheongsan granite (CS).

서부 영남육괴 트라이아스기의 세 화강암체의 기재적 특징을 보면 청산암체의 경우 알칼리장석의 거정을 포함하는 흑운모 화강섬록암으로 정의되거나 켈식한 암상에서는 화강암의 조성을 가진다(사공희와 좌용주, 1997). 한편, 백록암체와 점촌암체는 기재적으로 유사하여 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 정의되지만, 점촌암체가 백록암체보다 일반적으로 약간 켈식한 암상을 나타낸다(최원희와 좌용주, 1998). 세 암체의 화강암에 대한 모드 조성은 Fig. 2와 같다.

백록암체와 점촌암체는 비록 지역적으로 분리되어 있기는 하지만 암석기재적으로는 조립질 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 매우 유사하다. 또한 이 두 암체는 지구화학적으로는 주성분원소의 함량변화에서 매우 연속적인 변화경향이 지적되었으며(사공희와 좌용주, 1997; 최원희와 좌용주, 1998), Fig. 3에 나타난 미량원소의 변화에서도 상당히 연속적인 경향을 보인다. 이 사실은 이들이 동일 마그마의 분화과정에 의해 형성되었을 가능성을 제시한다. 따라서 백록암체와 점촌암체는 하나의 화강암 스위트로 묶을 수 있다. 그러나 청산암체의 경우 거정의 알칼리 장석을 포함하는 흑운모 화강섬록암으로 백록 및 점촌암체와는 기재적으로 상당히 다르다. 또한 지구화학적 원소의 변화 경향에서도 백록과 점촌암체와는 상당히 뚜렷한 차이가 드러나기 때문에 다른 스위트 또는 독립적인 암체로 지정되어야 한다(Fig. 3).

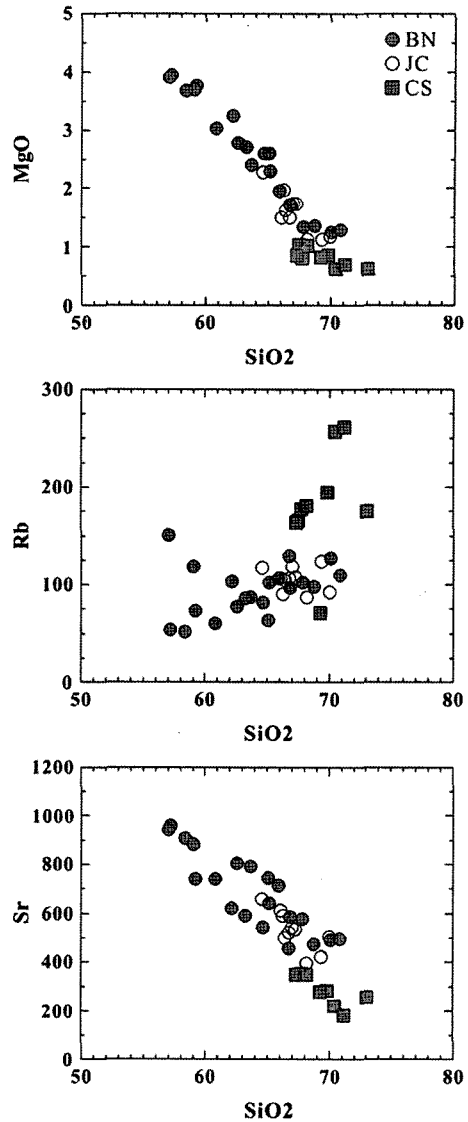


Fig. 3. Elemental variation diagrams for the Triassic granites in the Okcheon belt (western Yeongnam massif). Abbreviations are the same as those in Fig. 2.

암체가 스위트 또는 독립암체로 지정될 경우 그에 부합하는 명칭이 제시되어야 한다. 서부 영남육괴 트라이아스기 화강암체들의 경우에는 백록과 점촌암체를 하나의 스위트로 묶어 '백록 스위트'라 부르기로는, 점촌암체가 백록암체에서의 분화상으로 생각되기 때문이다. 한편, 청산암체의 경우 백록 스위트와는 다른 암석학적 특징을 지니기 때문에 여기서는 '청산 스위트'로 지정한다. 백록 스위트와 청산 스위트는 둘 다

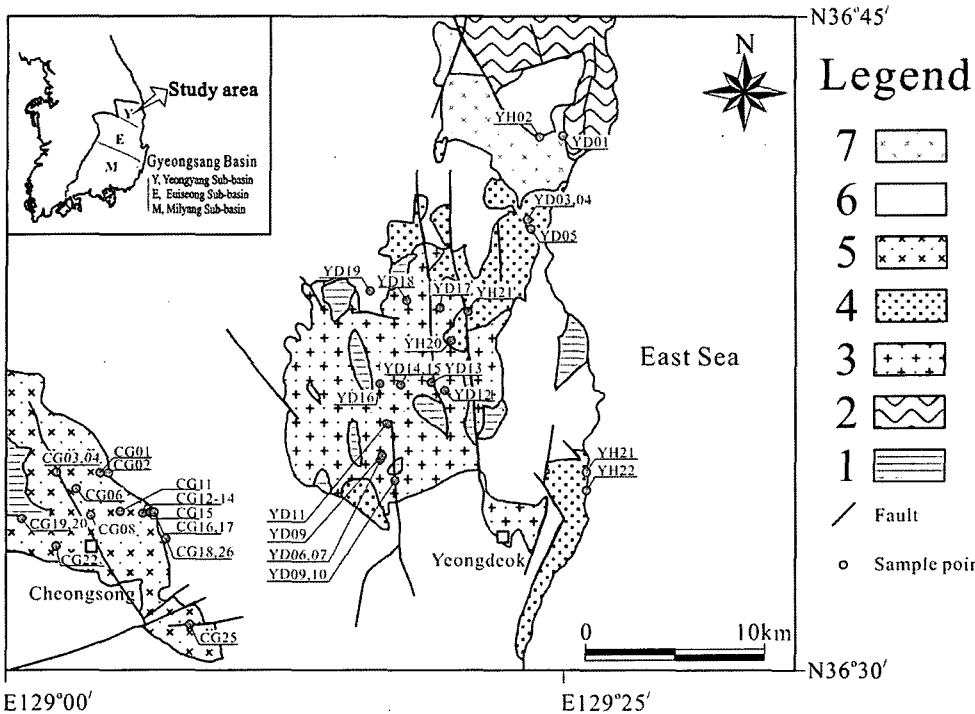


Fig. 4. Geologic map of the northern Gyeongsang basin and distribution of the Triassic granites (modified after Cheong *et al.*, 2002). 1, Basement rocks of Gyeongsang basin; 2, Yeongnam massif; 3, Yeongdeok granite; 4, Yeonghae granite; 5, Cheongsong granite; 6, Gyeongsang Supergroup; 7, Onjeongri granite.

조성적인 변화가 비교적 단순한 단순 스위트(simple suite)에 해당한다고 볼 수 있다.

백록 스위트와 청산 스위트는 후술할 근원물질의 특징에서는 유사성을 가진다(Fig. 8 & 9). 따라서 인근 지역에 분포하는 화강암체들이 상이성과 유사성을 동시에 가지는 2개 이상의 스위트로 구성될 경우 이들을 슈퍼스위트로 설정할 수 있다. 서부 영남육괴의 백록 그리고 청산 스위트를 포함하는 화강암의 분포를 ‘백록 슈퍼스위트’로 제안하고자 한다.

경상분지 트라이아스기 화강암

경상분지의 북부에는 영덕, 영해 및 청송암체가 트라이아스기 화강암으로 관입하고 있다(Fig. 4). 이 화강암들은 Sm-Nd 등시선연대, U-Pb 스피넬연대 등에서 197~247 Ma의 연대를 보인다(Cheong *et al.*, 2002; Sagong *et al.*, 2005). 영해암체는 중립 내지 조립질의 각섬석 흑운모 화강섬록암 내지 섬록암의 암상을 나타낸다. 영덕암체의 경우 적어도 세 가지 암상이 나타나는데, 조립질 각섬석 흑운모 화강암, 세립질 흑운모 화강암 및 알칼리 장석의 거정을 포함하는 화강암이 그것들이며 여기에 페그마타이트와 애플라이트가 관입하

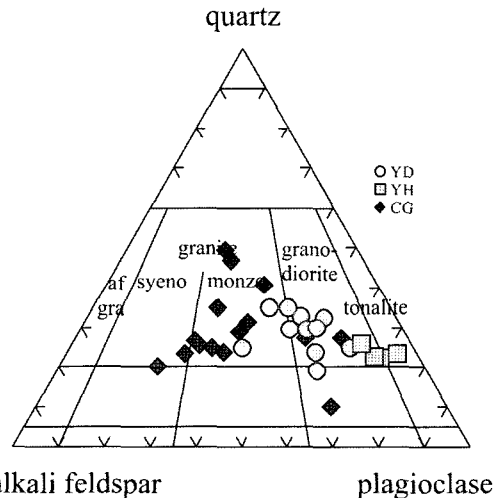


Fig. 5. Modal compositions (quartz-alkali feldspar-plagioclase) of the Triassic granites in the Gyeongsang basin. Symbols: circle, Yeongdeok granite (YD); square, Yeonghae granite (YH); diamond, Cheongsong granite (CG).

고 있다. 한편, 청송암체의 경우 섬록암, 화강섬록암, 각섬석 흑운모 화강암, 흑운모 화강암, 알칼리장석 화

Table 1. Geochemical data for the Triassic granites in the Gyeongsang basin.

Sample No.	Yeongdeok											
	YD01	YD03	YD04	YD06	YD07	YD08	YD09	YD10	YD11	YD12	YD13	YD14
SiO ₂	71.82	74.01	70.06	71.24	66.23	63.74	69.55	65.66	66.62	70.87	69.80	69.88
TiO ₂	0.15	0.11	0.33	0.15	0.50	0.46	0.30	0.51	0.34	0.28	0.29	0.32
Al ₂ O ₃	14.70	14.00	14.56	15.50	16.86	17.91	15.83	16.53	16.76	14.99	15.90	15.36
Fe ₂ O ₃ T	1.22	0.94	2.28	1.21	2.38	3.28	1.81	3.00	2.53	1.59	1.55	1.72
MnO	0.04	0.02	0.05	0.01	0.03	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
MgO	0.21	0.15	0.93	0.49	0.80	1.56	0.67	0.95	1.07	0.46	0.43	0.45
CaO	1.19	0.73	1.79	2.30	2.18	3.80	1.62	2.86	2.68	1.63	1.77	1.57
Na ₂ O	5.24	5.74	5.01	5.00	5.23	5.96	5.06	5.44	5.36	5.15	5.21	5.10
K ₂ O	4.00	3.06	2.91	3.00	4.33	1.39	3.90	3.22	3.00	3.37	3.88	3.87
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.10	0.08	0.22	0.20	0.11	0.25	0.15	0.11	0.11	0.13
LOI	1.06	0.79	1.63	0.75	0.87	1.31	0.87	1.16	1.14	1.26	0.73	1.28
Total	99.67	99.59	99.65	99.73	99.63	99.66	99.75	99.63	99.69	99.74	99.70	99.71
Ba	870	660	760	2150	1550	660	1290	1060	1520	865	1070	1290
Rb	134	87	75	35	82	22	71	64	59	77	90	74
Sr	356	215	379	940	1060	1210	775	1140	900	620	745	765
Zr	106	116	107	84	208	79	125	83	94	108	111	132
Sample No.	Yeongdeok					Yeonghae						
	YD15	YD16	YD17	YD18	YD19	YH02	YH05	YH20	YH21	YH22	YH23	
SiO ₂	67.21	67.45	71.48	68.42	64.94	52.54	56.53	60.46	59.04	59.43	59.10	
TiO ₂	0.31	0.31	0.27	0.42	0.45	0.68	0.70	0.69	0.62	0.66	0.71	
Al ₂ O ₃	16.68	16.63	14.67	16.27	16.80	18.98	18.53	17.13	17.78	17.62	17.63	
Fe ₂ O ₃ T	2.45	2.36	1.29	2.03	3.06	7.66	6.34	5.50	5.66	5.70	6.00	
MnO	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.12	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	
MgO	1.08	1.03	0.25	0.60	2.04	4.45	3.32	2.34	2.85	2.89	3.00	
CaO	3.18	2.94	1.34	1.94	3.84	8.38	6.61	4.80	5.45	6.03	6.04	
Na ₂ O	5.50	5.43	4.55	5.54	5.21	3.13	3.94	4.32	3.90	3.50	3.44	
K ₂ O	2.12	2.23	4.28	3.36	1.79	1.19	1.67	2.61	1.88	2.33	2.15	
P ₂ O ₅	0.14	0.15	0.09	0.15	0.20	0.11	0.13	0.22	0.14	0.12	0.13	
LOI	1.05	1.19	1.56	0.97	1.31	2.34	1.71	1.56	2.35	1.34	1.46	
Total	99.76	99.76	99.79	99.73	99.68	99.58	99.59	99.72	99.76	99.71	99.75	
Ba	835	895	1030	1130	740	274	301	685	453	423	455	
Rb	47	42	110	70	28	35	78	56	54	65	59	
Sr	930	950	493	915	1570	620	452	615	505	424	439	
Zr	79	72	161	156	75	54	128	122	93	74	95	

강암, 페그마타이트, 애플라이트 등 최대 여섯 가지 이상의 암상이 나타나는 매우 불균질한 암체이다. 세 암체에서의 암석기재적인 차이는 화강암질 마그마 원래의 특징과 더불어, 마그마와 기반암(변성퇴적암)과의 상호 작용 및 마그마와 페그마타이트/애플라이트 암맥 사이의 상호작용 등에 기인하는 것으로 생각된다(좌용주, 2004).

세 암체의 화강암에 대한 모드 조성을 QAP 도표에 도시한 것이 Fig. 5이다. 영해암체는 토날라이트에서 화강섬록암의 조성을 나타내고, 영덕암체는 화강섬록암 조성이 우세하며, 청송암체는 화강암 조성이 우세하다.

경상분지 트라이아스기 화강암에 대한 지구화학적 자료는 Cheong et al.(2002)에 일부 보고되어 있으나,

Table 1. continued.

Cheongsong										
Sample No.	CG01	CG02	CG03	CG04	CG06	CG08	CG11	CG12	CG13	CG14
SiO ₂	64.50	66.18	73.69	66.99	65.39	63.33	68.33	65.39	71.28	77.11
TiO ₂	0.37	0.31	0.07	0.31	0.32	0.15	0.19	0.39	0.21	0.07
Al ₂ O ₃	17.58	16.54	14.29	16.50	17.31	18.31	16.49	16.22	15.04	12.26
Fe ₂ O ₃ T	3.75	3.09	0.53	2.92	3.37	2.42	1.82	3.69	1.79	0.69
MnO	0.10	0.07	0.01	0.04	0.08	0.03	0.02	0.10	0.04	0.01
MgO	0.95	0.72	0.20	0.56	0.84	0.53	0.54	1.32	0.36	0.10
CaO	3.16	2.67	1.11	2.38	2.60	2.43	2.61	3.15	1.42	0.58
Na ₂ O	5.36	5.14	3.61	4.74	5.25	4.62	5.03	5.11	4.48	3.06
K ₂ O	2.97	3.24	5.53	4.20	3.76	5.46	3.43	2.98	4.61	5.51
P ₂ O ₅	0.14	0.10	0.01	0.09	0.12	0.07	0.08	0.12	0.04	0.01
LOI	0.83	1.59	0.55	0.52	0.63	1.16	1.26	1.36	0.62	0.52
Total	99.71	99.65	99.60	99.25	99.67	98.51	99.80	99.83	99.89	99.92
Ba	2170	2560	1450	3020	1960	9810	1250	-	890	980
Rb	51	41	100	88	73	70	69	-	89	107
Sr	515	451	358	535	469	670	413	-	293	215
Zr	295	232	41	313	236	217	200	-	150	49
Cheongsong										
Sample No.	CG15	CG16	CG17	CG18	CG19	CG20	CG22	CG24	CG25	CG26
SiO ₂	72.95	65.28	77.32	68.03	63.85	62.79	65.66	62.93	62.39	78.43
TiO ₂	0.15	0.23	0.05	0.26	0.55	0.46	0.43	0.51	0.81	0.06
Al ₂ O ₃	14.27	17.95	12.30	16.53	16.93	18.18	16.82	17.54	16.01	11.92
Fe ₂ O ₃ T	1.21	2.23	0.73	2.18	3.87	3.68	2.87	3.95	5.71	0.64
MnO	0.03	0.06	0.02	0.04	0.06	0.04	0.04	0.06	0.11	0.01
MgO	0.20	0.54	0.12	0.64	1.19	1.11	0.88	1.55	0.88	0.12
CaO	0.82	1.85	0.81	2.33	3.82	4.02	2.18	3.66	2.74	0.88
Na ₂ O	4.20	5.65	3.77	3.96	4.48	5.45	5.45	4.66	5.02	3.75
K ₂ O	4.97	4.97	4.28	5.16	3.39	2.42	3.44	2.97	4.69	3.84
P ₂ O ₅	0.02	0.07	0.01	0.08	0.19	0.16	0.16	0.15	0.21	0.01
LOI	0.52	0.72	0.50	0.56	1.55	1.56	1.61	1.90	1.15	0.31
Total	99.34	99.55	99.91	99.77	99.88	99.87	99.54	99.88	99.72	99.97
Ba	4210	1880	1310	2010	990	725	1310	820	1400	610
Rb	90	89	75	83	63	48	62	58	109	77
Sr	202	341	219	477	755	850	1220	595	424	154
Zr	154	178	62	148	197	205	151	140	497	62

이 연구에서는 이 암체들의 분포를 새로 구분하여 지구화학적 분석을 새로이 실시하였다(Table 1). 화학분석은 호주 맥쿼리대학의 X선형광분석기(XRF)를 사용하였다. 주성분 원소의 변화 경향을 Fig. 6에, 일부 미량성분의 변화 경향을 Fig. 7에 나타내었다.

주성분 원소의 변화를 살펴보면, 영해암체의 경우 그 암상이 가장 매력하고, 다른 두 암체와 동일 SiO₂의 범

위에서의 비교가 어렵다. 그러나 영덕암체와 청송암체의 경우는 직접적인 비교가 가능하다. 영덕과 청송암체는 Al₂O₃와 전철(Fe₂O₃T로 나타냄)의 함량 변화에서 유사하지만, 나머지 원소의 변화 경향은 조금 다르다. 이 사실은 이 두 암체의 모 마그마의 조성이 달랐을 가능성을 지시하는 것이다. 이 양상은 미량원소의 변화 경향에서도 동일하게 지적된다.

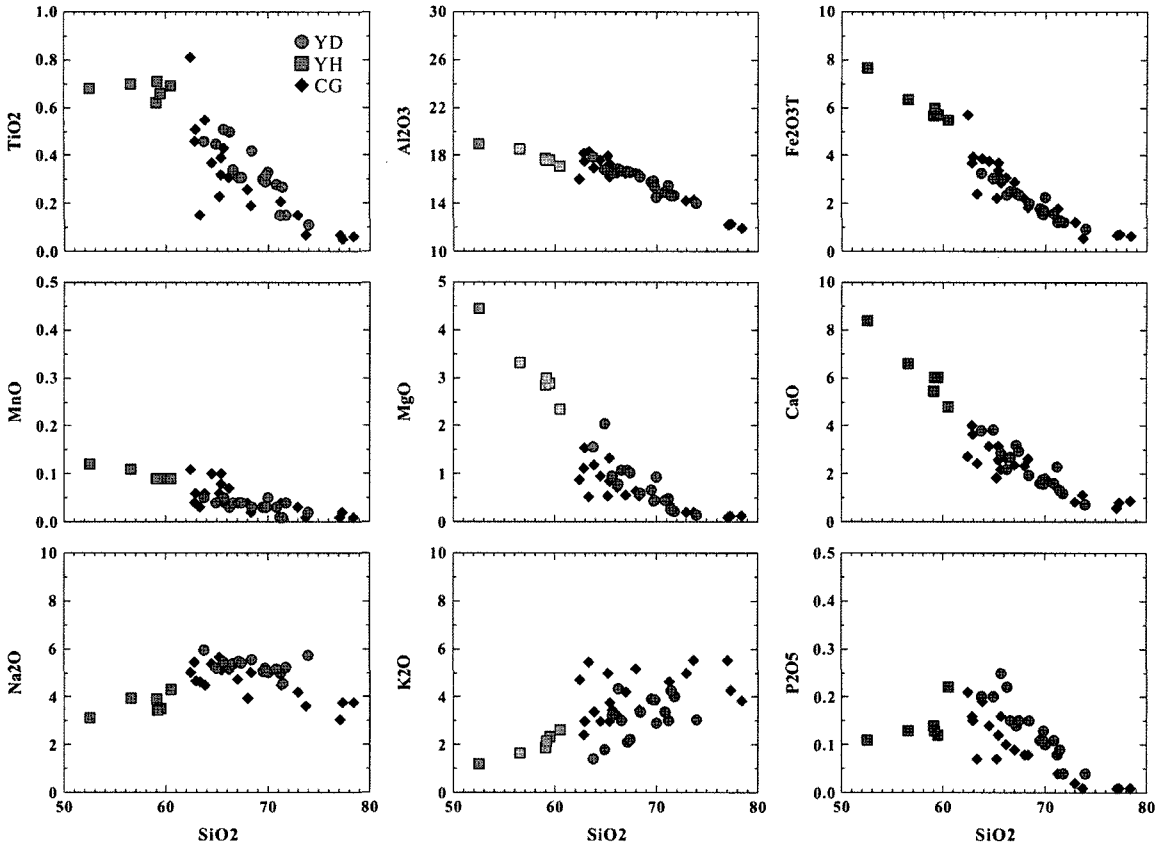


Fig. 6. Major element variation diagrams for the Triassic granites in the Gyeongsang basin. Symbols are the same as those in Fig. 4.

한편, 영해(YH)암체의 매끈한 암상을 만든 마그마가 영덕과 청송암체의 모 마그마 조성을 대변하는 것으로 생각할 수 있으나, 어느 것보다도 뚜렷한 상관을 보이지 않는다고 해야 옳다. 결론적으로 경상분지 트라이아스기 화강암체들은 기재적인 특징과 지구화학적 자료로부터 유사성과 상이성을 동시에 포함하기 때문에 전체적으로 하나의 슈퍼스워드 지정될 수 있다.

영해암체의 경우 그 암상의 변화가 적고 지구화학적으로도 단순한 변화를 보여 단순 스위트로서 ‘영해 스위트’로 지정된다. 한편, 영덕암체와 청송암체의 경우 암상의 변화에서 다양성이 인정되기 때문에 복잡 스위트(intricate suite)로 설정하는 것이 바람직하다. 따라서 영덕암체와 청송암체를 각각 ‘영덕 스위트’, ‘청송 스위트’로 지정하고자 한다.

경상분지의 트라이아스기 화강암이 이루는 3개의 스위트는 전체로서 하나의 슈퍼스워드를 형성한다. 이 경우의 명칭은 분포면적과 대표적인 암상 분포를 고려해

야 하는데, 영덕을 사용하는 것이 나을 것이다. 청송의 경우, 주변 백악기 화강암과 화산암의 분포지라도 알려져 있어 트라이아스기의 명칭으로는 부적절하기 때문이다. 따라서 ‘영덕 슈퍼스워드’를 제안한다.

논의: 트라이아스기 화강암 슈퍼스워드에 따른 근원물질의 차이

화강암체의 계층적 구분은 화강암질 마그마의 성인적인 측면에서의 고찰을 포함하기 때문에, 지각변동의 특징이 어떠했으며, 마그마의 근원물질이 되는 지각은 어떤 조성인지에 대한 것이 고찰되고 파악될 수 있다. 위에서 우리나라 트라이아스기 화강암체를 육천대(SKTL) 구분에 의하면 서부 영남육괴)와 경상분지에 분포하는 것으로 나누어 스위트/슈퍼스워드를 구분했다. 아래에서는 서부 영남육괴의 백록슈퍼스워드와 경상분지의 영덕 슈퍼스워드가 마그마 근원물질에 대한 점에서 어

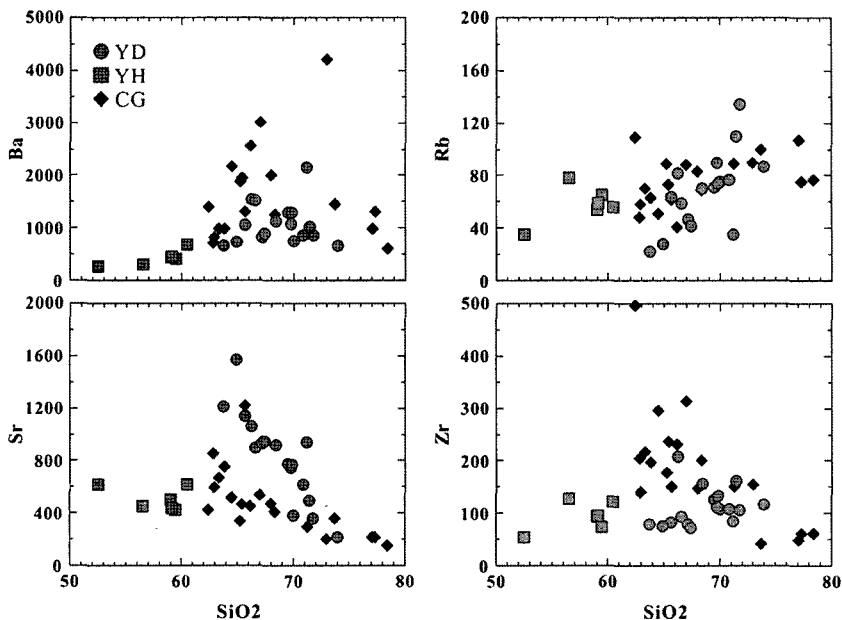


Fig. 7. Trace element variation diagrams for the Triassic granites in the Gyeongsang basin. Symbols are the same as those in Fig. 4.

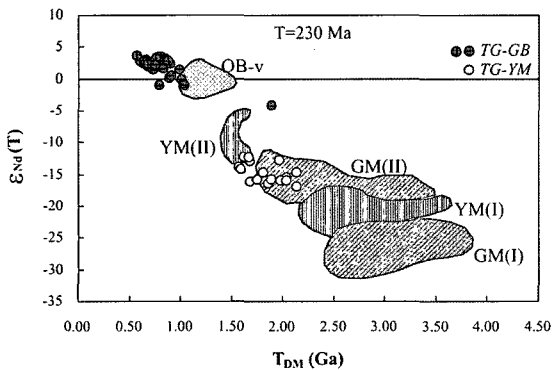


Fig. 8. Nd isotopic signatures of the Triassic granites at the reference age of 230 Ma. Each field for the basement rocks is taken from Jwa (2004). The depleted mantle model ages (T_{DM}) for the granites are likely to indicate mixed model ages between the sources. OB-v represents the range of Nd isotopic signatures of the metavolcanic rocks in the Okcheon belt; GM(I) and GM(II) of more enriched and less enriched basement rocks in the Gyeonggi massif, respectively; YM(I) and YM(II) of more enriched and less enriched basement rocks in the Yeongnam massif, respectively. TG-GB, Triassic granites in the Gyeongsang basin; TG-YM, Triassic granites in the Okcheon belt (western Yeongnam massif).

편 차이를 보이는지를 고찰해 보았다.

트라이아스기 화강암들에 대한 Nd 동위원소 자료를

230 Ma의 시기로 규정하여 그 특징을 도시하고, 현재 우리나라의 지각성분을 넷으로 나누어 함께 나타낸 것이 Fig. 8이다. 이 그림에서 넷으로 나뉜 지각성분 GM(I), GM(II), YM(I), YM(II)는 경기육괴의 두 성분과 영남육괴의 두 성분을 나타내는 것으로 자세한 사항은 Jwa(2004)를 참고하기 바란다.

Fig. 8에서 알 수 있듯이 서부 영남육괴의 백록 슈퍼스위트와 경상분지의 영덕 슈퍼스위트는 동위원소 특징에서 아주 뚜렷하게 대비된다. 서부 영남육괴의 백록 슈퍼스위트의 경우 3개의 스위트로 나누어짐에도 불구하고 그들은 동위원소 특징에서 유사하다. 그리고 경상분지의 영덕 슈퍼스위트 역시 3개의 스위트가 모두 유사한 동위원소 특징을 보인다. 결국 트라이아스기 화강암을 서부 영남육괴와 경상분지로 나누어 슈퍼스위트로 구분함은 적절한 것이며, 이들은 마그마의 근원물질에서부터 차이가 있었음을 지시한다.

Fig. 8에서 트라이아스기 화강암 슈퍼스위트는 근원물질의 차이를 보이는데, 그러면 과연 이 차이는 어떻게 설명될 것인지에 대해 알아보자. Fig. 9은 Fig. 8의 자료와 Sr 동위원소의 자료를 복합적으로 해석하여 각 슈퍼스위트를 형성시킨 화강암질 마그마의 근원물질을 추정한 것이다(Jwa, 2004 참조). 이 그림에서 서부 영남육괴의 백록슈퍼스위트는 두 지각성분, 즉 YM(I)과 YM(II)가 혼합된 물질이 마그마의 근원물질이며, 둘의

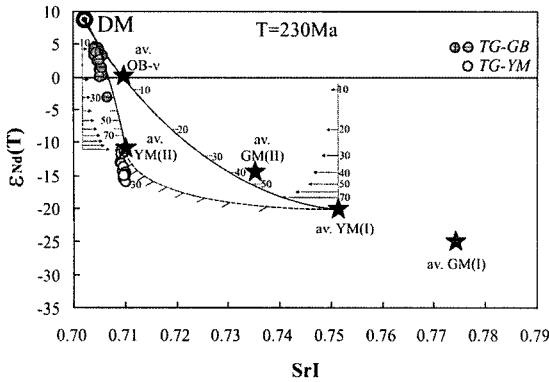


Fig. 9. Mixing lines describing $\epsilon_{Nd}(T)$ and $SrI(T)$ in mixtures of two components. The compositions for the depleted mantle (DM) are 136 ppm of Sr, 8 ppm of Nd, +10 of $\epsilon_{Nd}(0)$ and 0.7026 of $SrI(0)$, and the isotopic compositions were recalculated with respect to the reference ages of 230 Ma. The average compositions of five crustal components [GM(I), GM(II), YM(I), YM(II) and OB-v] are taken from Jwa (2004). Solid lines indicate the DM-crust mixing, whereas broken lines represent the crust-crust mixing. The relative weight fraction (%) of the crustal component in the mixture is marked with a number. Symbols are the same as those in Fig. 8.

혼합에서 YM(I) 성분이 최대 30%까지임을 보여준다.

한편 경상분지 트라이아스기 영덕 슈퍼스워드트는 결핍된 맨틀과 YM(II) 지각성분의 혼합으로 이루어진 물질이 마그마의 근원물질임을 나타낸다. 근원물질의 조성은 상당수가 결핍된 맨틀의 성분을 가지지만 YM(II)의 지각성분이 최대 30%까지 포함되었음을 보이고 있다. YM(II)의 지각성분은 과거 화성기원의 원암(igneous protolith)으로 생각되기 때문에(Jwa, 2004참조), 트라이아스기 화강암 슈퍼스워드트는 모두 화성기원의 근원물질에서 출발했다고 볼 수 있다.

하지만 서부 영남육괴와 경상분지의 트라이아스기 화강암에서 동위원소의 특징이 매우 다르게 나타나는 것은 이 두 지역이 동시기에 위치한 지구조적 장소가 서로 달랐을 가능성을 내포한다. 즉 트라이아스기 화성활동의 기간 중, 경상분지 지역은 맨틀의 영향이 많은 화산전면(volcanic front)에 가까운 지역으로, 서부 영남육괴는 화산전면에서 내륙 쪽에 위치했을 가능성을 지시한다고 볼 수 있다.

결론

우리나라 중생대 트라이아스기 화강암에 대한 스위트/슈퍼스워드트 분류의 결과는 아래와 같다.

(1) 옥천대(서부 영남육괴)의 트라이아스기 화강암 중에서 백록암체와 점촌암체는 하나의 '백록 스위트'로 지정될 수 있으며 청산암체의 경우 '청산 스위트'로 부를 수 있다. 이 두 스위트는 근원물질의 유사성과 기재적 및 지구화학적 상이성 등으로부터 하나의 슈퍼스워드트로 묶을 수 있는데, 여기서는 '백록 슈퍼스워드트'로 제안한다.

(2) 경상분지의 트라이아스기 화강암인 영덕암체, 영해암체, 청송암체는 각각 독립적인 '영덕 스위트', '영해 스위트', '청송 스위트'로 부를 수 있다. 이 세 스위트는 근원물질의 유사성과 기재적 및 지구화학적 상이성 등으로부터 하나의 슈퍼스워드트로 묶을 수 있는데, 여기서는 '영덕 슈퍼스워드트'로 제안한다.

(3) 서부 영남육괴의 백록 슈퍼스워드트와 경상분지의 영덕 슈퍼스워드트는 동위원소 특징에서 아주 뚜렷한 차이를 보이는데, 이는 두 슈퍼스워드트를 만든 화강암질 마그마의 근원물질이 서로 달랐음을 지시한다.

(4) 백록 슈퍼스워드트는 그 근원물질이 영남육괴를 이루는 지각물질들 사이의 혼합으로 설명되는 반면, 영덕 슈퍼스워드트의 근원물질은 결핍된 맨틀과 영남육괴 지각물질의 혼합으로 설명된다. 동시기 화성활동의 산물인 백록 슈퍼스워드트와 영덕 슈퍼스워드트에서 화강암질 마그마의 근원물질에 차이를 보이는 것은 마그마 생성의 장소가 지체구조적으로 상이하였음을 지시하는 것이다.

사사

이 연구는 한국학술진흥재단의 선도연구자 연구비(KRF-2003-041-C00372)에 의해서 지원되었다. 이 논문에 대한 세심한 지적과 건설적인 비평을 해 주신 익명의 심사자들에게 감사드린다.

참고문헌

권성택, 박성현, 정창식, 1998, 한반도 옥천대 중하부 화강암체에 대한 U-Pb 스핀과 인회석 연대. 제7차 한국암석학회 학술발표회, p. 21.
 김현주, 백인성, 2001, 경상남도 고성군에 분포하는 백악기 진동층의 퇴적상 및 퇴적환경. 지질학회지, 37, 235-256.
 사공희, 좌용주, 1997, 청산일대에 분포하는 화강암류의 광물조성과 주성분원소 지구화학. 암석학회지, 6, 185-209.
 좌용주, 2004, 우리나라 중생대 화강암의 계층적 구분-트라이아스기 화강암의 예. 한국암석학회·한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 105-107.
 최원희, 좌용주, 1998, 점촌일대에 분포하는 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 암석학회지, 7, 37-52.

- Bates, R.L. and Jackson, J.A. 1987, *Glossary of Geology* (3rd edition). American Geological Institute, Alexandria, USA.
- Cheong, C.-S. and Chang, H.-W., 1997, Sr, Nd, and Pb isotope systematics of granitic rocks in the central Ogcheon belt, Korea. *Geochemical Journal*, 31, 17-36.
- Cheong, C.-S., Kwon, S.-T. and Sagong, H., 2002, Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic investigation of Triassic granitoids and basement rocks in the northern Gyeongsang Basin, Korea: Implications for the young basement in the East Asian continental margin. *The Island Arc*, 11, 25-44.
- 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-Science Reviews*, 52, 175-235.
- Jwa, Y.-J., 2004, Possible source rocks of Mesozoic granites in South Korea: implications for crustal evolution in NE Asia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 95, 181-195.
- Kim, C.-B., Chang H.-W. and Turek, A., 2003, U-Pb zircon ages and Sr-Nd-Pb isotopic compositions for Permian-Jurassic plutons in the Ogcheon belt and Ryeongnam massif, Korea: Tectonic implications and correlation with the China Qinling-Dabie belt and the Japan Hida belt. *The Island Arc*, 12, 366-382.
- Lee, J.I., Kagami, H. and Nagao, K., 1995, Rb-Sr and K-Ar age determinations of the granitic rocks in the southern part of the Kyeongsang basin, Korea: Implications for cooling history and evolution of granitic magmatism during late Cretaceous. *Geochemical Journal*, 29, 363-376.
- Lee, S.M., 1974, The tectonic setting of Korea, with relation to plate tectonics. *Journal of Geological Society of Korea*, 10, 25-36.
- Ree, J.-H., Kwon, S.-H., Park, Y., Kwon, S.-T. and Park, S.-H., 2001, Pre-tectonic and post-tectonic emplacement of the granitoids in the south central Okcheon belt, South Korea: Implications for the timing of strike-slip shearing and thrusting. *Tectonics*, 20, 850-867.
- Sagong, H., Kwon, S.-T. and Ree, J.-H., 2005, Mesozoic episodic magmatism in South Korea and its tectonic implication. *Tectonics*, 24, TC5002, doi:10.1029/2004TC001720.
- White, A.J.R., Allen, C.M., Beams, S.D., Carr, P.F., Champion, D.C., Chappell, B.W., Wyborn, D. and Wyborn, L.A.I., 2001, Granite suites and supersuites of eastern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 515-530.

(2005년 12월 2일 접수; 2005년 12월 12일 채택)