

백악기 신라역암 내 화산암력의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대 및 하양층군의 퇴적시기에 대한 고찰

김찬수 · 박계현* · 백인성

부경대학교 환경 · 해양대학 환경지질과학과

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Age of the Volcanic Pebbles within the Silla Conglomerate and the Deposition Timing of the Hayang Group

Chan-Soo Kim, Kye-Hun Park* and In-Sung Paik

Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요약: 백악기 경상누층군의 하양층군에 속하는 신라역암의 화산암력들에 대한 각설석 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정을 실시하여 $113.4 \pm 2.4(2\sigma)$ Ma의 결과를 얻었다. 이 연대는 Aptian의 최상부 시기이다. 기존의 절대연령 측정 결과를 종합검토하여 하양층군을 구성하는 각 층들의 퇴적시기를 다음과 같이 한정할 수 있었다. 진동층의 퇴적은 약 96~97 Ma의 시기로부터 15 Ma 정도 지속되었다. 이는 Cenomanian 중에 퇴적이 시작되어 Santonian 까지 퇴적된 것은 거의 확실하며, Campanian의 하부까지 포함할 가능성이 높다. 이 연구에서는 Campanian의 초기인 81~80 Ma의 시기를 하양층군과 유천층군의 경계시기로 제안한다. 신라역암의 퇴적시기는 Albian 초기, 함안층의 퇴적시기는 Albian의 나머지와 Cenomanian까지로 볼 수 있다. 칠곡층의 퇴적은 Aptian 최후기 에 걸쳐 일어났을 가능성이 높은 것으로 추정된다.

핵심어: 신라역암, 경상분지, 하양층군, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대, 백악기

Abstract: Hornblende $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of 113.4 ± 2.4 (2σ) Ma was determined from the volcanic pebble of the Silla Conglomerate which belongs to the Hayang Group of the Cretaceous Gyeongsang Supergroup. This age corresponds to the top of Aptian. Based on the reported age information, onset and duration of deposition of the constituting formations of the Hayang Group are constrained as follows; deposition of the Jindong Formation started from ca. 96~97 Ma and lasted for about 15 Ma. Therefore, Jindong Formation was deposited since Cenomanian to Santonian and it is likely to be extended to the early Campanian. We propose 81~80 Ma, which is in early Campanian, as the boundary between Hayang and Yucheon Groups. We suggest that the Silla Conglomerate was deposited during the early Albian and the Haman Formation was deposited during the rest of the Albian and also during the Cenomanian. The Chilgok Formation seems to be deposited during the late Aptian.

Key words: Silla Conglomerate, Gyeongsang Basin, Hayang Group, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Age, Cretaceous

서 론

백악기에 한반도의 여러 곳에 퇴적분지들이 발달하였다. 최근에는 우리나라의 백악기 퇴적층에서 다양한 종류의 공통화석들이 발견되고 있으며, 여러 분야에 걸친 다양한 연구결과들이 발표되고 있다. 그러나 퇴적층의 생성연대가 정밀하게 밝혀지지 않고 있기 때문에

다른 나라들과의 지질대비, 공룡의 진화, 고기후의 변화 및 지구조적 환경변화 등에 대한 연구가 큰 제약을 받고 있다. 각 퇴적층의 연대가 정밀하게 알려지고 있지 않은 이유는 한반도의 백악기 분지들이 육성의 퇴적암층으로 구성되어 있어 지질시대를 좁은 범위로 한정할 수 있는 적합한 종류의 화석의 발견되지 않기 때문이다. 고지자기를 이용하여 퇴적시기를 알아내려는

*Corresponding author: Tel. 82-51-620-6241, Fax. 82-51-628-6432, E-mail. khpark@pknu.ac.kr

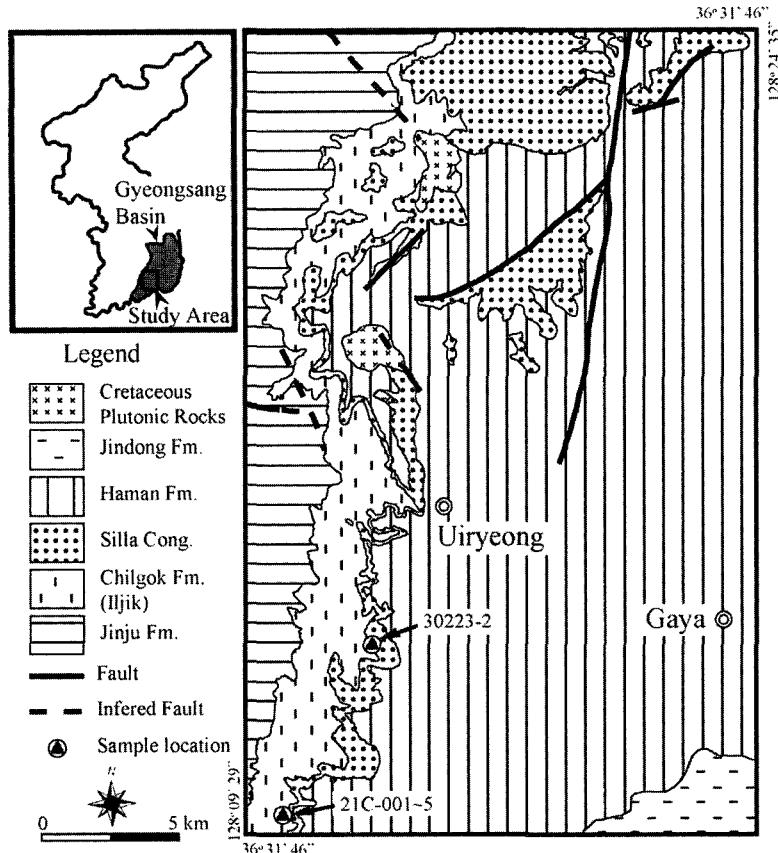


Fig. 1. Geologic map and sample location.

시도도 여러 차례 있었지만 백악기의 상당기간 동안에 정자극기가 지속되어 정밀한 연대측정에는 한계가 있다. 퇴적층과 연관된 화성암의 절대연령을 측정하는 방법 역시 측정 대상이 한정되어 일반적으로 적용이 어려운 측면이 있다. 특히 한반도 백악기 퇴적분지 중에서 가장 규모가 큰 경상분지는 한반도의 중생대 지질 환경 변화를 이해하는데 매우 중요하지만 하부인 신동 충군의 퇴적층들이 쌓이는 동안에는 화성활동이 활발하지 않아 화성암에 대한 절대연령 측정법을 적용하기도 곤란한 실정이었다. 그러나 신동충군 상부의 하양 충군이 쌓이는 동안에는 여러 차례의 화성활동이 인지되고 있다. 특히 신라 역암과 구산동 응회암은 경상분지를 남북으로 가로지르며 좁고 길게 분포하여 이들의 생성시기는 경상누충군의 퇴적시기를 한정하는데 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 구산동응회암에 대한 연대 측정 자료는 몇 차례에 걸쳐 보고되었으나(장기홍 외, 1998; Jwa and Jeong, 2002; 좌용주 외, 2004) 신라역암의 절대연대는 아직 보고되지 않고 있다. 이 연구에

서는 신라역암의 화산암력에 대한 K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정 결과들을 보고하고, 하양충군에 대한 기존의 절대연령 측정자료들을 종합검토하여 하양충군을 구성하는 진동층, 함안층, 신라역암 및 칠곡층의 생성시기를 보다 좁은 범위로 한정하고자 한다.

지질개요

경상분지 경상누충군의 하양충군은 하부로부터 칠곡 층, 신라역암, 함안층, 그리고 진동층으로 구성된다(Fig. 1). 칠곡층과 함안층의 사이의 퇴적층들에는 사암 등 일부 다른 암상들도 협재하나 대부분 역암으로 구성되기 때문에 가장 특징적인 암상인 역암을 층 이름에 붙여 신라역암이라고 부르고 있다. 신라역암을 구성하는 역의 종류를 살펴보면 편마암, 규암, 화강암, 셰일, 현무암, 안산암 등과 같은 여러 종류의 암종들이 발견되지만 대부분은 화산암력들이다(예, Huh, 1990). 화산암력의 성분을 살펴보면 현무암으로부터 조면현무암, 현

Table 1. Whole rock K-Ar ages of the volcanic pebbles from Silla Conglomerate.

Sample	K (wt%)	^{36}Ar (10^{-10} ccSTP/g)	^{40}Ar radiogenic (10^{-8} ccSTP/g)	error (1σ)	Age (Ma)	error (1σ)	Air (%)
21C-001-a	1.81	60.9	582.1	7.6	81.0	2.4	23.6
21C-001-b	1.67	53.8	567.8	7.0	85.4	2.5	21.9
30223-2	1.50	87.6	429.1	9.8	72.2	1.5	37.6

Table 2. Result of Ar isotopic measurements for the incremental heating steps applied on the hornblende separated from Silla Conglomerate sample number 21C-001.

Temp (°C)	700	780	860	940	1020	1110	1150	1210	1290	1370
$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	3697.6	655.1	745.4	428.2	418.5	305.9	292.9	374.1	203.6	112.1
$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	1.24	1.03	1.88	2.36	4.42	7.09	7.57	8.53	7.46	7.06
$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	11.25	1.19	1.57	0.68	0.51	0.10	0.10	0.40	0.18	0.03
K/Ca	0.802	0.965	0.529	0.421	0.223	0.138	0.129	0.114	0.131	0.139
$^{40}\text{Ar}^*$ (%)	10.0	46.1	37.4	52.6	63.9	90.7	90.1	68.3	73.5	91.6
^{39}Ar (%)	3.38	5.50	3.47	2.38	2.70	69.84	6.46	2.84	1.55	1.87
Age (Ma)	153.0	125.0	115.9	94.1	111.8	116.7	111.2	108.4	63.6	43.2
2s	14.6	5.3	7.9	5.8	6.4	3.6	4.6	6.8	9.9	6.9

Table 3. Result of Ar isotopic measurements for the incremental heating steps applied on the hornblende separated from Silla Conglomerate sample number 21C-002.

Temp (°C)	720	780	860	940	1005	1040	1080	1120	1170	1250	1350	1450
$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	2291.1	1317.7	1119.2	984.9	1092.4	478.7	290.9	257.5	315.2	312.9	368.1	284.4
$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	0.93	0.75	1.01	4.59	6.33	7.74	8.65	8.54	10.07	10.03	9.68	9.31
$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	6.93	3.71	3.17	2.73	3.00	0.84	0.14	0.06	0.43	0.36	0.50	0.27
K/Ca	1.073	1.335	0.992	0.215	0.155	0.126	0.112	0.114	0.096	0.097	0.100	0.104
$^{40}\text{Ar}^*$ (%)	10.5	16.6	16.1	17.9	18.6	48.1	85.8	93.7	59.3	66.2	60.0	71.4
^{39}Ar (%)	4.40	2.34	1.72	1.20	1.23	2.57	50.45	30.69	1.35	1.75	1.47	0.84
Age (Ma)	112.8	102.0	84.8	83.7	96.9	109.5	118.1	114.2	89.6	99.0	105.5	96.9
2s	26.7	12.0	22.5	22.8	23.8	9.5	3.5	3.7	18.0	18.4	21.2	40.5

무암질 조면안산암, 조면안산암, 조면암 및 석영 안산암에 이르기까지 넓은 범위의 변화를 보인다(김찬수, 2005).

분석법

이 연구에서는 화산암력 중에서 유리질 부분에 대한 K-Ar 전암분석과 각섬석에 대한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 분석을 수행하였다. 암석용 망치로 부순 표표품으로부터 각섬석이 많은 부분을 골라내어 조분쇄기(Jaw crusher)로 분쇄한 다음 표준망체를 이용하여 60~100매쉬에 해당하는 부분을 취하였다. 탈이온수로 세척하고 오븐에서 약 70°C로 건조시킨 후 실체현미경 하에서 불순물을 골라내었다. K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정은 한국기초과학기원연 구원에서 수행하였으며, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 분석을 위한 중성자조사(irradiation)는 한국원자력연구원의 하나로 원자로를 이용하였다. K 함량은 원자흡광분석기(Atomic

Absorption Spectrometer, Unicam 989 모델)를 이용하여 분석하였고, Ar은 불활성기체의 동위원소 조성을 분석하는 고정진공 질량분석기(Static Vacuum Mass Spectrometer, VG 5400 모델)를 이용하여 분석하였다. 한국기초과학기원연구원의 기기를 이용한 K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 분석법에 대한 보다 상세한 내용은 김정민 외 (2001) 및 김정민(2001)에 기술되어 있다.

결과 및 토의

여기서는 이 연구에서 측정한 신라역암내 현무암질 화산암력의 연대를 살펴본 뒤에 신라역암이 속한 하양 층군의 각 층별 생성시기의 상한과 하한을 설정하기 위하여 기존의 연대측정 자료들을 종합해 보려고 한다.

신라역암에 대한 전암 K-Ar 연대측정 결과는 Table 1과 같으며 72~85 Ma의 범위를 보인다. 한편 동일 노두의 두 시료로부터 분리한 각섬석들에 대한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

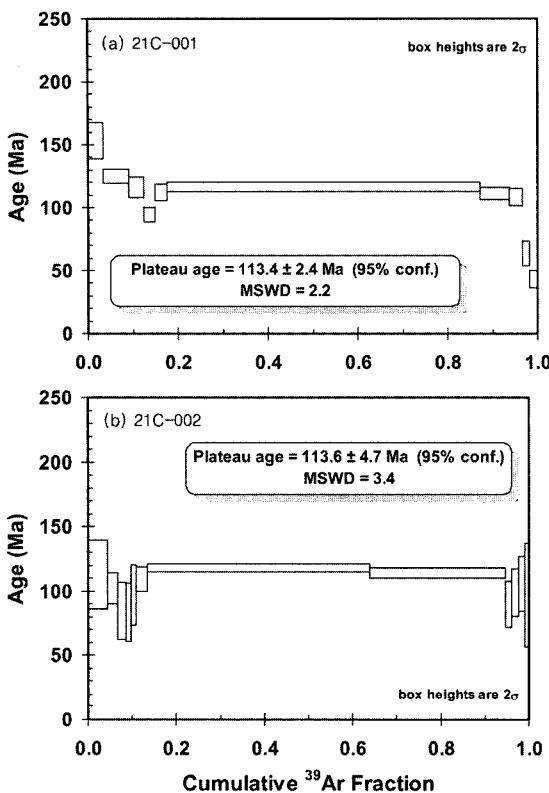


Fig. 2. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the hornblendes separated from the Silla Conglomerate of Hayang Group. (a) and (b) represent two samples collected from the same outcrop.

연대(Table 2, 3, Fig. 2)는 두 시료의 결과가 113.4 ± 2.4 (2σ) Ma와 113.6 ± 4.7 (2σ) Ma로 잘 일치한다. 그러나 전암의 K-Ar 분석 결과에 비해서는 훨씬 더 오래된 연대를 나타낸다. 이와 같이 전암의 K-Ar 연대가 각섬석의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대에 비하여 상당히 짧은 연대를 보이는 것은 풍화에 의한 변질의 영향이거나 후기의 열적교란에 의해 영향을 받은 것으로 추정된다. 이러한 추론은 박편관찰시 화산암력의 기질부는 상당히 심한 변질을 보이고 있음으로부터 뒷받침된다. 즉, 이와 같은 풍화 변질에 의하여 Ar의 일부가 빠져나가 상대적으로 짧은 연대를 나타내는 것일 수 있다. 한편 경상분지 진화의 마지막 단계인 유천층군 생성시기에 활발해진 화성활동의 영향도 고려해 볼 수 있다. 그러나 각섬석에 대한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연령의 경우 여러 단계의 온도에서 추출된 Ar들이 심한 변화를 보이지 않는 반면에 두 시료의 결과가 서로 잘 일치하고 있기 때문에 신라역암내 현무암질 화산암의 활동시기를 나타내는 것으로 판단된다.

신라역암 내에 포함된 화산력들의 조성 범위가 매우 다양한 것을 고려한다면 마그마의 분화에 다소 시간이 필요했을 수도 있고, 따라서 현무암질 마그마의 분출로부터 신라역암의 퇴적시기까지는 더욱 더 긴 시간이 걸렸을 가능성도 전혀 배제할 수는 없다. 그러나 화산암력으로부터 분리한 각섬석의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대는 신라역암 퇴적연령의 최고기 상한선을 한정하기 때문에 하양층군 각 층들의 퇴적시기를 논의하는데 중요한 의미를 갖는다고 생각한다.

함안층과 진동층의 경계

구산동 응회암은 층서적으로 볼 때 함안층과 진동층의 경계와 거의 일치하게 나타나고 있기 때문에 구산동 응회암의 생성시대는 함안층과 진동층의 경계시기와 거의 일치한다고 볼 수 있다. 최근에 몇 차례 보고된 구산동 응회암에 대한 절대 연령 측정 결과를 살펴보면 다음과 같다.

우선 장기홍 외(1998)는 저온에 대한 CHIME 연대 측정 결과로 114 ± 10 Ma의 연대를 보고하였다. 그러나 Jwa and Jeong(2002)은 구산동 응회암에 대한 K-Ar 연대를 측정하였는데 창령을 기준으로 북쪽의 응회암으로부터는 $97.4 \sim 103.4$ Ma, 남쪽의 응회암으로부터는 $81.9 \sim 88.1$ Ma(오차는 약 ± 2 Ma)의 결과를 얻었으며 이는 장기홍 외(1998)의 자료와 비교시 상당히 짧은 연대라고 할 수 있다. Jwa and Jeong(2002)은 창령을 기준으로 남쪽과 북쪽의 구산동 응회암 연령이 다르게 산출된 것에 대하여 서로 다른 시기에 퇴적되었을 가능성이 함께 남쪽의 구산동 응회암이 생성 후 열적 교란을 받았을 가능성을 언급하였다. 최근에 좌용주 외(2004)는 같은 응회암층으로부터 분리한 저온에 대해 LA-ICP-MS(Laser Ablation ICP-MS)로 분석한 결과 북쪽의 응회암으로부터는 96 ± 2 (2σ) Ma, 남쪽의 저온으로부터는 97 ± 2 (2σ) Ma의 서로 잘 일치하는 U-Pb 연대를 구하였다. 이는 남쪽과 북쪽의 구산동 응회암이 동일한 시기에 분출하여 만들어진 응회암임을 말해준다.

이와 같은 최근의 구산동 응회암의 연대측정 자료들 중에서 후기의 열적 교란이나 풍화변질의 영향을 상대적으로 쉽게 받을 수 있는 K-Ar 연대측정법 보다는 폐쇄온도가 높은 저온에 대한 연대측정법이 더 신뢰도가 있다고 판단할 수 있다. 또한 전자현미 분석에 의한 원소 농도자료로부터 연대를 계산하는 CHIME 방법에 비해 동위원소 분석자료로부터 연대를 구하는 방법이 오차도 훨씬 작고 더 신뢰성 있는 방법이라고 평가할 수 있다. 따라서 좌용주 외(2004)의 결과가 가장 신뢰할 수 있는 구산동 응회암의 분출시기라고 판단된다.

또한 좌용주 외(2004)의 연대는 함안층과 대비되는 송내동층과 진동층에 대비되는 건천리층의 사이에 협재하는 채약산 현무암에 대하여 윤성효(1998a)가 보고한 94 ± 4 Ma와도 합치하기 때문에 함안층과 진동층의 경계시기를 가장 잘 한정하는 신뢰성 있는 연대로 판단된다.

좌용주 외(2004)는 구산동 응회암에서 분리한 저콘들 중 앞에서 언급한 연대를 갖는 저콘들과는 다른 형태를 갖는 것들로부터 $107 \pm 4(2\sigma)$ Ma의 결과를 구하였으며 이는 장기홍 외(1998)의 결과와 오차범위 내에서 일치하는 것으로 볼 수 있다. 이는 이 연구에서 보고한 신라 역암의 화산력 연대와도 합치되는 값이다. 따라서 구산동 응회암에 포함된 저콘들의 일부는 신라 역암을 구성하는 화산암들의 활동시기에 만들어졌던 저콘으로 해석할 수 있다. 구산동 응회암 생성시의 마그마의 이동 경로 혹은 폭발적 분출 경로에 있던 이전의 화산암 혹은 화산쇄설성 암석들에 포함된 저콘들의 일부가 화산분출물에 포함되어 함께 구산동 응회암을 형성한 것으로 생각해 볼 수 있다.

진동층의 퇴적시기

진동층의 퇴적시기는 앞에서 살펴본 것과 같이 함안층과 진동층의 경계인 $96 \sim 97$ Ma의 시기로부터 퇴적되었으며, 상한은 활발한 화산활동이 시작되는 유천층군의 생성시기까지로 설정할 수 있다. 백인성 외(2000)는 진동층 내의 화산쇄설성 입자들로 이루어진 두 표품에 대한 K-Ar 연대측정을 실시하여 85.7 ± 1.7 Ma와 84.9 ± 1.7 Ma의 결과를 얻었다. 이들은 또한 진동층을 관입한 맥암으로부터 68.6 ± 1.3 Ma, 진동층에 대비되는 것으로 알려진 건천리층을 관입하는 맥암으로부터는 80.1 ± 1.6 Ma의 K-Ar 연대를 구하였다. 이러한 결과들은 $84 \sim 85$ Ma의 시기에는 진동층이 퇴적되고 있었으며, 80 Ma 경에는 이미 해당 지역의 진동층이 퇴적된 후임을 알려준다. 좌용주 외(2004)는 진동층을 관입한 화강암으로부터 LA-ICP-MS 저콘 U-Pb 연대측정을 시도하여 $80 \pm 2(2\sigma)$ Ma의 결과를 보고하였으며, 이로부터 진동층의 퇴적은 80 Ma 이전에 일어난 것으로 주장하였다. 이와 같은 결과는 백인성 외(2000)의 결과와 합치한다. 영산-남지간 국도확장공사 지역의 진동층을 관입한 세립의 화강암질 암석으로부터 측정된 각섬석 K-Ar 연령은 82.6 ± 2.6 Ma(미발표자료)이다. 이 화강암질 관입암의 경우 폭이 수 미터 정도이며, 접촉부의 퇴적암에서 열적 영향의 흔적이 발견되지 않으며, 세립의 입자 크기를 갖는 점 등으로 볼 때 비교적 얕은 곳에서 관입하여 빨리 냉각된 것으로 판단된다. 또한 각섬석의 K-Ar 폐쇄온도는 비교적 높은 편이기 때문에 각

섬석 K-Ar 연대는 관입 연대와 크게 다르진 않을 것으로 추정된다. 이 연대 역시 진동층을 관입한 화강암 및 맥암에 대하여 좌용주 외(2004) 및 백인성 외(2001)가 보고한 연대와 오차범위 내에서 일치한다. 따라서 진동층의 퇴적은 82~80 Ma경까지 지속되었을 것으로 볼 수 있다.

결론적으로 진동층의 퇴적은 약 96~97 Ma의 시기로부터 약 15 Ma 정도 지속되었으며, 이는 과거에 알려진 것보다 훨씬 오랜 기간 동안 진동층의 퇴적이 일어났음을 의미한다. 진동층이 대부분 세립의 이질 퇴적물로 구성되어있고, 상대적으로 두꺼운 두께를 갖고 있음도 이러한 장기간의 퇴적과 합치한다.

하양층군과 유천층군의 경계시기

경상분지 내에서는 진동층의 상위에 놓이는 유천층군의 퇴적시기에는 화산활동이 매우 활발히 일어났던 것으로 보고되어 있다. 여수 도서지역에 발달하고 있는 공룡화석층을 포함하는 퇴적암들(허민 외, 2001) 역시 퇴적층들 사이에 빈번히 화산암들이 협재하여 유천층군으로 분류되어 있으며, 최근에 박계현 외(2003)가 절대연령 자료를 보고하였다. 그 결과를 살펴보면 여수시 도서지역의 백악기층의 가장 하부에 위치한 적금도의 역암에 포함된 화산력들의 K-Ar 연대는 80.8 ± 1.6 Ma로부터 95.3 ± 1.9 Ma의 범위를 보인다. 한편 적금도의 역암층보다 상위에 놓이는 추도의 퇴적층을 관입한 맥암의 연대가 77.0 ± 2.3 Ma로 보고되었다(박계현 외, 2003). 이러한 연대자료들은 적금도의 역암 퇴적시기를 $81 \sim 77$ Ma의 비교적 좁은 범위로 한정시켜주며, 매우 높은 밀도의 화산력을 포함하고 있는 양상으로 볼 때 가장 좁은 화산력의 연대인 81~80 Ma가 적금도 역암의 퇴적 시기일 가능성성이 높다. 이 연대는 좌용주 외(2004)가 보고한 진동층을 관입한 화강암의 연대 및 백인성 외(2001)가 보고한 건천리층을 관입한 맥암의 K-Ar 연대와 동일한 시기이다.

경상분지내에 분포하는 유천층군 분포지의 화산암 연대측정 결과를 살펴보면 삼랑진 칼데라에 관련된 산성 화산암들의 Rb-Sr 전암연대가 $80.8 \pm 1.9(2\sigma)$ Ma로 보고되었으며(황상구와 정창식, 1998) 이 연대는 진동층을 관입한 화강암 및 맥암들의 연대와 동일하다. 그러나 유천층군내에 분포하는 다른 화산암들 및 광상관련 연대자료들의 대부분은 이보다 후기의 연대를 갖는다(Fletcher and Rundle, 1977; 이현구 외, 1993; Kim et al., 1997; 윤성효, 1998b; 김춘식 외, 1998). 따라서 81~80 Ma의 시기가 경상분지내의 화성활동이 활발해지는 시기로 해석할 수 있으며 이로부터 수백만년 이

후부터는 집중적인 화산활동이 일어났던 것으로 여겨진다. 이 연구에서는 화성활동의 활발해지기 시작한 것으로 판단되는 81~80 Ma의 연대를 하양층군과 유천층군의 경계시기로 제안한다.

함안층, 신라역암 및 칠곡층의 퇴적시기

함안층의 퇴적종료 시기는 앞에서 논의한 것과 같이 구산동 응회암이 분출한 96~97 Ma의 시기로 설정할 수 있다. 한편 퇴적 시작 시기는 신라역암에 포함된 화산력들의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대인 113 Ma 보다는 나중에 시작된 신라역암의 퇴적 이후로 보아야 한다. 신라역암의 경우 층의 전체에 걸쳐 큰 변화가 없이 대부분 각진 화산력을 포함하는 역암으로 구성되기 때문에 그리 멀지 않은 화산 분출지로부터 운반된 퇴적물들이 비교적 짧은 기간 동안 퇴적되어 만들어진 퇴적암층이라고 볼 수 있다. 만약 신라역암의 퇴적이 수백만년 이내에 이루어졌다면 함안층의 퇴적도 15 Ma 내외의 기간동안 지속되었던 것으로 해석할 수 있다. 칠곡층 퇴적의 종료시기는 신라역암에 포함된 화산력의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대로 한정할 수 있다. 그러나 칠곡층 퇴적의 시작 시기를 한정하는 것은 칠곡층 이전의 퇴적층들에 대한 정밀한 연대자료가 많지 않기 때문에 쉽지 않다. Sano *et al.*(2002)은 하양층군 아래의 신동층군에 속하는 하산동층에서 발견한 공룡 이빨을 이온프로브로 분석하여 115.1 ± 9.3 Ma의 U-Pb 연대를 보고하였으며, 이 연대를 하산동층의 속성연대로 해석하였다. 따라서 화석이 발견된 위치의 하산동층 퇴적시기는 이보다 이전이라고 할 수 있다. 만약 속성작용이 퇴적 이후 그리 오랜 시간이 경과하지 않고 종료되었다면 칠곡층의 퇴적은 이 연대보다 이후라고 할 수 있다. 이 경우 공룡 이빨과 거의 같은 연대를 나타내는 신라역암의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대를 감안할 때 공룡 화석이 발견된 지점의 하산동층과 상위의 진주층, 그리고 칠곡층 모두가 불과 몇 백만년 이내의 기간 동안에 퇴적되었음을 의미한다. 이러한 결과는 앞의 논의에서 살펴본 것과 같이 함안층과 진동층이 각각 15 Ma 내외의 기간 동안 퇴적되었음과 비교하면 상당히 짧은 기간이기 때문에 추가적인 연대측정 연구를 통해 확인이 필요하다고 판단한다.

결 롬

이 연구에서 보고한 신라역암의 화산력 연대와 하양층군에 대한 기존 절대연령 자료를 종합하면 다음과 같이 하양층군 각 층의 퇴적시기를 한정할 수 있다.

진동층의 퇴적은 약 96~97 Ma의 시기로부터 15 Ma

정도 지속되었으며, 이는 과거에 알려진 것보다 훨씬 오랜 기간 동안 진동층의 퇴적이 일어났음을 의미한다. 진동층의 퇴적이 시작된 시기는 국제총서위원회(International Commission on Stratigraphy, ICS)의 지질시간 척도(Geologic time table, Gradstein *et al.*, 2004)로 보았을 때 Cenomanian(99.6~93.5 Ma) 내에 포함될 것으로 판단된다. 따라서 대양의 무산소 사건과 같은 큰 환경변화가 있었던 C-T(Cenomanian-Turonian) 경계는 진동층 내에 포함된다고 볼 수 있다. 진동층은 Cenomanian, Turonian(93.5~89.3 Ma), Coniacian(89.3~85.8 Ma)을 지나 Santonian(85.8~83.5 Ma)까지 퇴적된 것은 거의 확실하며, Campanian(83.5~70.6 Ma)의 하부까지 퇴적이 지속되었을 가능성성이 높다. 앞에서의 논의와 같이 이 연구에서는 81~80 Ma의 시기를 하양층군과 유천층군의 경계시기로 제안한다. 이 시기는 Campanian의 초기에 해당한다.

신라역암의 퇴적시기는 Albian(112.0~99.6 Ma) 초기, 함안층의 퇴적시기는 Albian의 나머지와 Cenomanian 까지로 볼 수 있다. 하산동층의 공룡 이빨 U-Pb 연대를 감안하면 칠곡층의 퇴적시기는 Aptian(125.0~112.0 Ma)의 최후기로 볼 수 있다. 비교적 두껍지 않은 칠곡층의 두께를 감안하면 칠곡층의 퇴적은 비교적 짧은 기간 동안에 일어났을 가능성이 높다. 그러나 동일 기간동안에 하산동층의 일부와 진주층 및 칠곡층의 전부가 퇴적되어야 함을 의미하기 때문에 추가적인 연대측정으로 확인할 필요가 있다고 판단한다.

사 사

이 연구는 한국과학재단의 특정기초연구과제(KOSEF-R01-1999-0053-0)의 연구비 지원으로 의해 수행되었으며 이에 감사드린다.

참고문헌

- 김정민, 2001, 한국기초과학지원연구원에 도입된 K-Ar 연대 측정 시스템: 개요 및 성능. 암석학회지, 10, 172-178.
- 김정민, 정창식, 한현수, 조운갑, 2001, 하나로 원자로와 불활성기체 질량분석기를 이용한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정. 한국광물학회·한국암석학회 공동학술발표회 논문집, 60-63.
- 김찬수, 2005, 경상분지 신라 역암내 화산암 역들의 암석화학 및 연대. 부경대학교 석사학위논문, 66 p.
- 김춘식, 윤성효, 정창식, 1998, 신불산·영취산 일대에 분포하는 백악기 화산암류의 화산층서와 암석학적 연구. 지질학회지, 34, 137-153.
- 박계현, 백인성, 허민, 2003, 여수시 도서지역 백악기층에

- 나타나는 화성활동 및 퇴적시기, 임석학회지, 12, 70-78.
- 백인성, 김현주, 이준동, 김인수, 김진섭, 문병찬, 2000, 경상분지 동남부의 상부 경상누층군에 발달한 호성퇴적층에 대한 비교퇴적학적 연구, 한국지구과학회지, 21, 423-436.
- 윤성효, 1998a, 유천화산암 분포지 북부 백악기 채약산화산암의 임석화학 및 스트론튬 동위원소비 조성, 지질학회지, 34, 161-171.
- 윤성효, 1998b, 한국 남동부 유천화산암분포지에 위치하는 백악기 화산암복합체의 임석학 및 화산활동사, 지구과학회지, 19, 408-424.
- 이현구, 김상중, 윤혜수, 최위찬, 송용수, 板谷 徹丸, 1993, 경북·의성 동남부에 분포하는 금성산 화산암류의 K-Ar 연대와 그 주변의 광화시기, 광산지질, 26, 445-454.
- 장기홍, 이윤종, 스즈키 카즈히로, 박순우, 1998, 구산동 응회암 저어콘 결정들의 형태, CHIME 연령 및 지사적 의의, 지질학회지, 34, 333-342.
- 좌용주, 이용일, Yuji Orihashi, 2004, 구산동 응회암과 진동 화강암에서 산출되는 저온에 대한 U-Pb 연대와 진동 층 퇴적시기에 대한 고찰. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 73.
- 허민, 백인성, 정칠환, 박재봉, 김보성, 2001, 전남 여수시 도서지역에서 발견된 공룡발자국 화석. 지질학회지, 37, 653-658.
- 황상구, 정창식, 1998, 삼랑진 칼데라에 관련된 화성암류의 마그마 진화. 임석학회지, 7, 161-176.
- Fletcher, C.J.N. and Rundle, C.C., 1977, Age of mineralization at Sannae and Ilkwang mines, Gyeongsang Basin, Republic of Korea. J. Geol. Soc. Korea, 13, 71-75.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Smith, A.G., Bleeker, W., and Lourens, L.J., 2004, A new geologic time scale, with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, 27.
- Huh, M., 1990, Sedimentary texture and provenance of the Cretaceous Silla Conglomerate in Daegu area, Korea. J. Geol. Soc. Korea, 26, 1-11.
- Jwa, Y.-J. and Jeong, J.-O., 2002, Spatial contrast within the Cretaceous Kusandong tuff: Geochemical evidence. 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 75.
- Kim, S.J., Lee, H.K., and Itaya, T., 1997, K-Ar ages and geochemistry for granitic and volcanic rocks in the Euiseong and Shinryeong area, Korea. Econ. Environ. Geol., 30, 603-612.
- Sano, Y., Terada, K., and Park, E.J., 2002, Ion microprobe dating of dinosaur tooth: implications for high-level lead exposure. Goldschmidt Conference Abstracts, A666.

(2005년 2월 16일 접수; 2005년 3월 7일 채택)