Jour. Petrol. Soc. Korea Vol. 15, No. 3, p. 119~127, 2006

서산층군 함철규암의 쇄설성 저어콘에 대한 SHRIMP U-Pb 연대: 시대와 층서의 제한

조등룡[1,*] · 김용준[2] · Richard Armstrong[3]

[1]한국지질자원연구원 지질기반정보연구부, [2]전남대학교 자연과학대학 지구환경과학부,
[3]호주국립대학교 지구과학연구학부

SHRIMP U-Pb Geochronology of Detrital Zircons from Iron-bearing Quartzite of the Seosan Group: Constraints on Age and Stratigraphy

Deung-Lyong Cho[1,*], Yong-Jun Kim[2] and Richard Armstrong[3]

[1]*Division of Geology and Geoinformation, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Gajeong-dong Yuseong-gu Daejeon, 305-350, Korea*
[2]*Faulty of Earth System and Environmental Sciences, Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea*
[3]*Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, 0200, A.C.T., Australia*

요 약: 서산층군 함철규암의 한 시료를 대상으로 쇄설성 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연대를 측정하였다. 42점의 분석치 중 38점이 불일치비 10 % 이하의 일치연령을 나타내며, 이들은 1781~1898 Ma(n = 19), 1935~1941 Ma(n = 4), 1996 Ma, 2120 Ma, 2403~2459 Ma(n = 5), 2661 Ma와 3198 Ma의 8 연령군을 이룬다. 따라서 함철규암의 퇴적시기는 가장 젊은 쇄설성 저어콘 연령인 1.78 Ga 이후이며, 이는 서산층군의 함철규암이 북중국 지괴의 시생대 함철층과 대비될 수 있다는 기존의 주장과 배치된다.

핵심어: 함철규암, 서산층군, 쇄설성 저어콘, 고분해능이차이온질량분석

Abstract: Detrital zircons in iron-bearing quartzite of the Seosan Group from southeastern part of the Gyeonggi Massif were analysed for SHRIMP U-Pb ages. Among 42 analyses, 38 data yield concordant ages (less tan 10 % discordancy), and they concentrated at 1781~1898 Ma (n = 19), 1935~1941 Ma (n = 4), 1996 Ma, 2120 Ma, 2403~2459 Ma (n = 5), 2661 Ma and 3198 Ma. The data indicate that sedimentation of iron-bearing quartzite should be after ca 1.78 Ga (the youngest detrital zircon age), and argue against some of conventional idea that iron-bearing quartzite of the Seosan Group might be correlated with the Archean iron-bearing quartzite in the North China Craton.

Key words: Iron-bearing quartzite, Seosan Group, detrital zircon, SHRIMP

서 언

서산층군은 연천계에서 철광을 함유하는 규암층을 편의상 지칭하는 것으로 손치무(1971)에 의해 처음 정의된 이래 경기육괴 남서부 태안반도 일대에 분포하는 규암층과 편암류를 규정하는 개념으로 폭 넓게 사용되어왔다(Na, 1992; 최위찬 외, 1995). 서산층군의 시대에 대해 손치무(1971)는 함철규암이 북중국의 안산(鞍山) 철광층에 대비될 가능성을 지적하고, 율리통과 더불어 시생대 지층으로 설정하였다. 지금까지 서산층군의 지질시대를 규제하기 위한 직접적인 연대자료는 없다. 다만 주승환 외(1982)는 서산층군을 관입하는 화강편마암의 전암 Rb-Sr 등시선 연대 2370 ± 50 Ma를 얻어 관입시기로 해석하였고, 나기창 외(1982)는 서산층을 관입하거나 미그마타이트화된 편마암 시료에서 구한 Rb-Sr 전암연대 2572 ± 10 Ma를 광역변성시기에 해

*Corresponding author: Tel: 82-42-868-3040, E-mail: dlcho@kigam.re.kr

당한다고 하여, 이들 자료는 서산층군이 시생대 지층이며 한국에서 가장 오랜 지층 중 하나인 것으로 폭넓게 인정되는 근거가 되고 있다(장태우와 이상용, 1982; 나기창 외, 1982; 이상만 외, 1989; Na, 1992; 이병주 외, 1996). 그러나 Turek and Kim(1996)은 같은 화강편마암에서 열이온화질량분석기(TIMS)에 의한 U-Pb 저어콘 연대 1766 ± 26 Ma를 보고하여 이의 정확한 관입시기에 대해 의문이 제기된다.

경기육괴에 약 2.4 Ga의 화강암질 관입암과 시생대 지층이 존재하는가 여부는 한국의 선캠브리아 층서뿐 아니라 남중국지괴 혹은 북중국지괴와의 대비에 중요한 요소이며, 이러한 대비는 다비-술루 충돌대의 한반도 중앙부(임진강대)로의 연장 여부(Chang, 1996; Ree *et al.*, 1996), 경기육괴가 옥천대와 임진강대를 경계로 만입되었다는 지체구조적 모델(Yin and Nie, 1993) 등의 검증에 중요한 단서가 된다.

우리는 서산층군의 시기를 보다 분명히 하기 위해 함철규암의 한 시료를 대상으로 쇄설성 저어콘에 대한 고분해능이차이온질량분석기(SHRIMP)를 이용한 U-Pb 연대측정을 실시하였으며, 그 결과를 여기에 제시한다. 또한 이를 근거로 서산층군의 시대와 층서에 대해 토의한다.

지 질

서산층군이 분포하는 경기육괴 서남부 일대의 지질은 선캠브리아의 변성퇴적암류와 화강편마암, 쥬라기의 화강암질암, 백악기의 화산암 및 퇴적암, 그리고 제4기의 충적층 및 매립지로 이루어진다(Fig. 1). 선캠브리아 변성퇴적암류는 크게 준편마암류, 규암, 편암류 등으로 구성되는 고변성퇴적암과 태안층이라 불리는 저변성퇴적암으로 나눌 수 있다(장태우와 이상용, 1982). 여기서 준편마암류는 경기편마암복합체의 미그마타이트질 편마암, 호상 편마암, 안구상 편마암, 화강암질 편마암, 흑운모 편암, 각섬석 편암 등이다. 서산층군은 통상적으로 규암 및 편암류를 지칭하지만(김동학과 황재하, 1982; Na, 1992; 최위찬 외, 1995), 연구자 혹은 지질도폭에 따라 경기편마암복합체의 준편마암류, 화

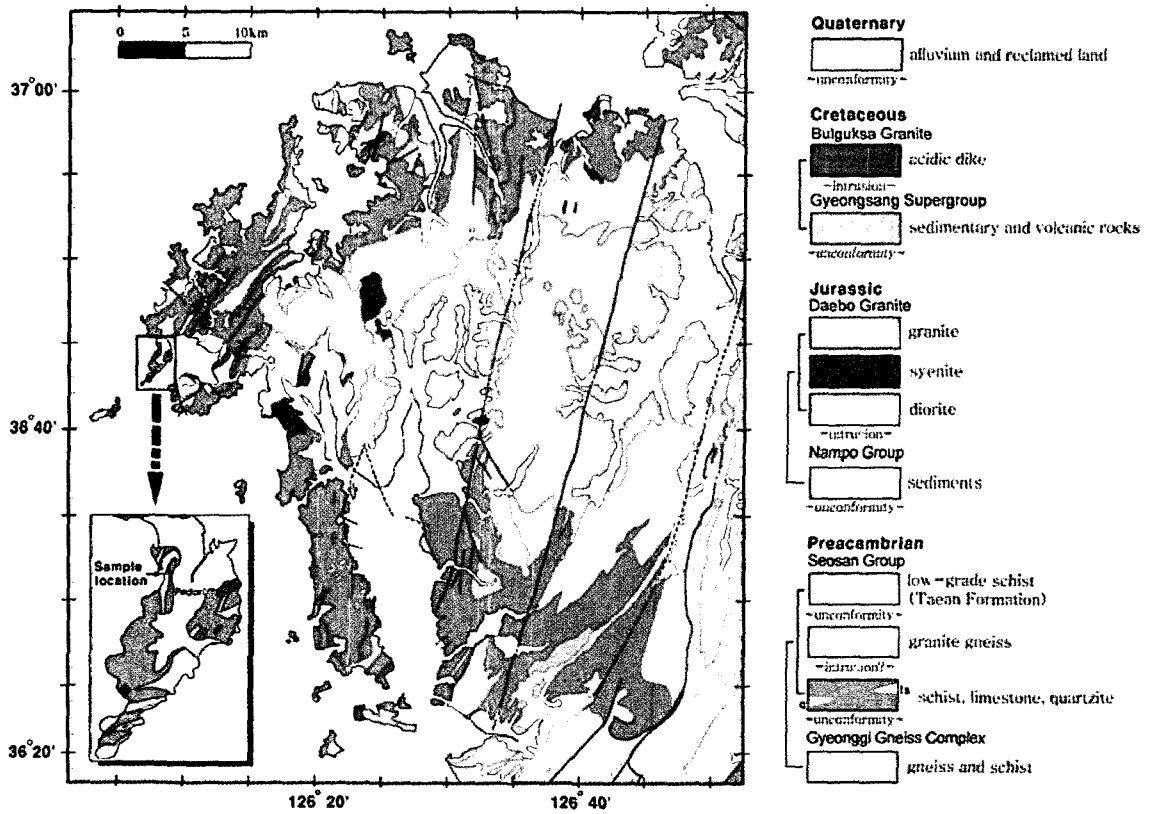

Fig. 1. Simplified geologic map showing the Seosan Group and sample location (modified from Lee *et al.*, 1996).

강편마암 혹은 태안층을 서산층군에 포함시키는 경우도 있다(나기창 외, 1982; 장태우와 이상용, 1982; 이상만 외, 1989; 이병주 외; 1996). 이 연구에서 서산층군은 규암 및 편암류를 지칭하는 것으로 한정한다.

서산층군은 이질, 준사질 또는 사질 성분의 편암으로 구성되며, 소규모의 석회암, 석회규산염암, 각섬암 등이 이에 협재한다. 이들 중 운모편암이 가장 넓게 분포하고 이는 석영 + 흑운모 + 백운모 + 사장석 + 석류석 + 규선석 ± 홍주석의 광물조합을 갖는다. 여러 매의 규암층이 수 m 내지 수십 m의 두께로 발달하는데 순수한 석영으로 구성되는 것이 오히려 드물어 흔히 장석질 석영 편암 혹은 백운모 석영 편암의 암상이다(장태우와 이상용, 1982). 일부 규암층은 철광을 배태하여 과거 여러 곳에서 이를 가행한 적이 있다(김정택, 1965).

화강편마암은 태안반도 서측에 소규모로 분포하며, 1/50,000 지질도폭조사에 의하면 서산층군을 조화적 혹은 부조화적으로 관입하고 운모편암의 포획암을 많이 갖는다(장태우와 이상용, 1982; 김동학과 황재하, 1982). 이는 엽리가 잘 발달하는 세립 혹은 중립질의 흑운모 화강암 또는 각섬석-흑운모 화강암이며, 드물게 조립질의 호상구조를 갖는 암상도 나타난다(장태우와 이상용, 1982). 태안층은 서산층군을 부정합으로 피복하며, 사질과 이질의 저변성퇴적암으로 구성되고, 매우 소규모의 석회암과 석회규산염암이 이에 협재한다. 구성광물은 시료에 따라 석영, 백운모, 흑운모, 녹니석, 전기석, 방해석, 녹염석, 불투명광물, 저어콘 등이다(장태우와 이상용, 1982). 중생대 초기의 관입체로 추정되는 섬장암 및 엽리상 화강암과 쥬라기의 흑운모 화강암이 서산층군의 분포지 인근에 노출되어 있다. 섬장암은 부분적으로 일차엽리를 보이며 반상조직을 나타내고, 섬장암 내지 석영몬조니암의 광물조성을 가진다. 엽리상 화강암은 세립질 내지 중립질의 각섬석 흑운모 화강암이다. 흑운모 화강암은 가장 넓게 분포하면서 지금까지 언급한 모든 암석을 관입하며 주승환 외(1982)에 의한 Rb-Sr 전암등시선연령은 179.8 ± 1.1 Ma이다. 이는 괴상의 중립 내지 조립이고, 부분적으로 백운모 함유한다(장태우와 이상용, 1982).

시 료

SHRIMP 저어콘 연대측정을 위해 서산층군의 규암층에서 한 시료를 채취하였다. 이는 장태우와 이상용(1982)의 서산층군 소근리층 기저의 "함철규암"에 해당하고, 채취위치는 파도리 서측 해안가 노두이다(Fig 1: 북위36°44'39"/동경126°08'02"). 시료는 갈색의 세립질

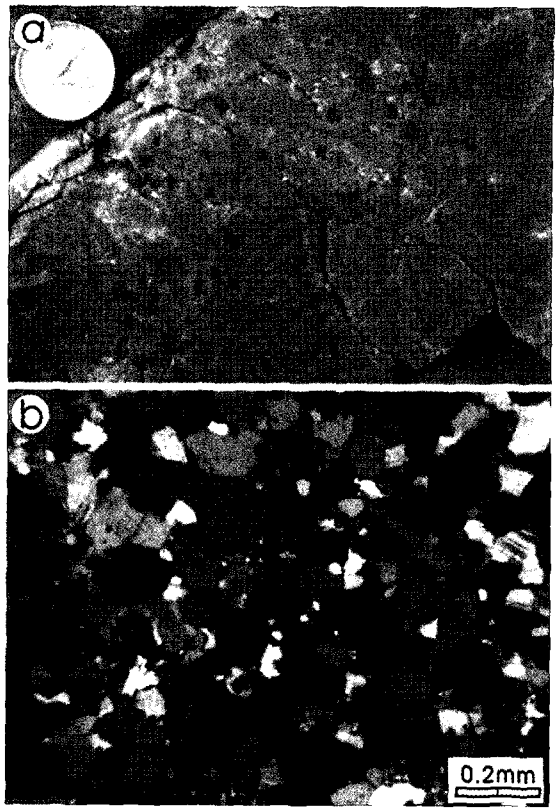

Fig. 2. (a) The *ion-bearing quartzite of the Seosan* Group collected for SHRIMP U-Pb zircon analyses. Note that sporadic distribution of magnetite grains. (b) photomicrograph (crossed polar) of the iron-bearing quartzite showing clastic mineral grain boundaries.

암석으로서 특징적으로 산점상으로 분포하는 자형의 자철석을 포함한다(Fig. 2a). 현미경에서 석영, 미사장석, 적철석, 자철석이 주성분광물로 관찰되며, 소량의 사장석, 견운모, 녹니석, 저어콘 입자 등이 수반한다. 변성작용에 의한 재결정작용이 미약하여 쇄설성 광물 입자의 외형이 부분적으로 보존되어 있다(Fig. 2b).

연구방법

야외에서 채취된 약 1 kg의 시료를 작은 암편으로 쪼개 조쇄기(jaw crusher)와 미분기(pulverizer)를 사용하여 분말로 제작한 다음, 60메쉬(지름 250 μm) 이하의 입자를 체로 분리하여 중광물분리와 실체현미경하에서의 수선택(hand-picking)을 통해 저어콘을 수집하였다. 저어콘 분리는 한국지질자원연구원에서 실시하였으며 자세한 사항은 조등룡(2004)에 언급된 내용을

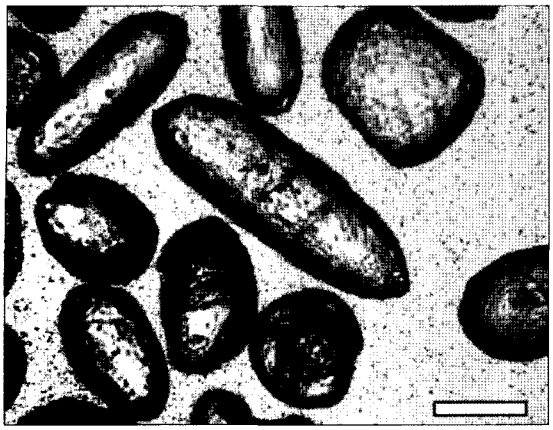

Fig. 3. Stereoscopic image of detrital zircons from iron-bearing quartzite of the Seosan Group showing highly abraded morphology. Bar for scale is 100 μm.

따랐다.

저어콘의 U-Pb 이차이온질량분석은 호주국립대학교의 SHRIMP I 기기를 사용해 이루어졌다. 먼저 선별된 저어콘을 표준 저어콘(SL13과 FC1)과 함께 1인치 직경의 에폭시에 마운트하고, 저어콘 입자의 중심 부분이 드러날 때까지 갈아낸 다음 1 μm로 표면을 연마하였다. 모든 저어콘 입자는 개방니콜 상태의 편광현미경 및 반사현미경 사진과 전자현미경 음극발광영상(SEM-CL) 사진으로 촬영하였고, 이를 바탕으로 쪼개짐이 심하거나, 포유물이 많거나, 표면상태가 불량하거나, 내부구조로 보아 변질된 것이 확실한 저어콘 입자는 분석에서 제외하였다. SHRIMP 분석의 절차와 자료 처리는 기존의 여러 연구에 보고된 바와 같으며(예: Willams, 1998; Williams and Myer, 1998; 조문섭 외, 2004) 필요한 원소 및 분자들에 대해 4회 반복측정을 하였고, 미지의 시료 4점 분석마다 표준 저어콘(SL13)을 1회 측정하여 보정에 이용하였다. 초기 자료의 보정과 연대계산 및 도표 작성은 SQUID(Ludwig, 2001a)와 Isoplot/Ex(Ludwig, 2001b) 프로그램으로 이루어졌다. 계산된 연령에 딸린 오차범위는 95% 신뢰수준이다.

결 과

저어콘은 장축의 길이가 최대 320 μm에 이르는 자색 혹은 다갈색의 입자로서, 거친 표면과 둥근 외형을 보여 퇴적작용과 관련하여 입자가 마모되었음을 나타낸다(Fig 3). 음극발광영상(CL)에 의한 저어콘의 내부

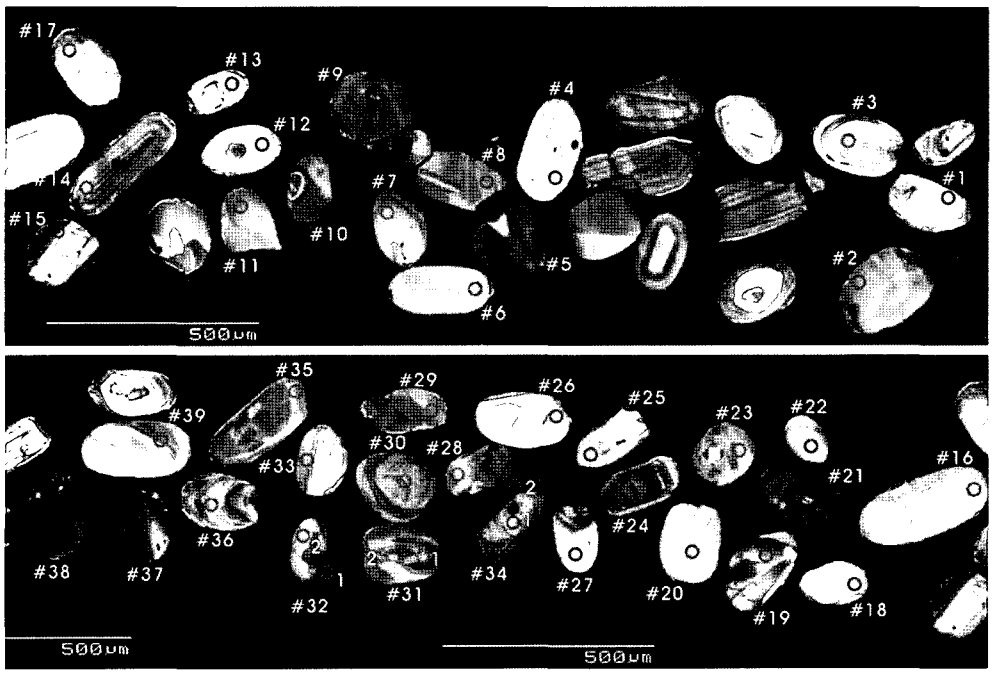

Fig. 4. Scanning electron microscope cathodoluminescence images of zircons. Circles (about 25 μm in diameter) indicate locations of SHRIMP analyses, and numbers refer to data in Table 1.

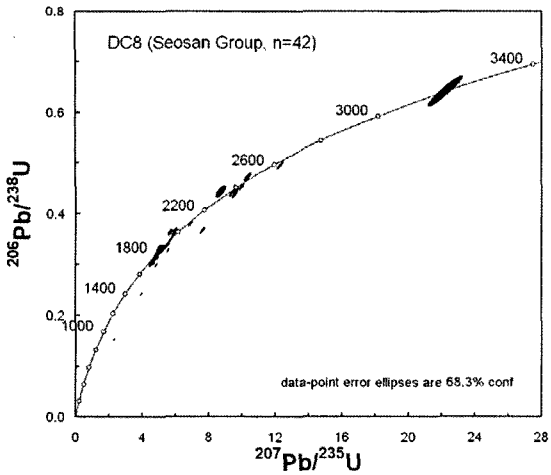

Fig. 5. Concordia plot of SHRIMP U-Pb data for detrital zircons from iron-bearing quartzite of the Seosan Group.

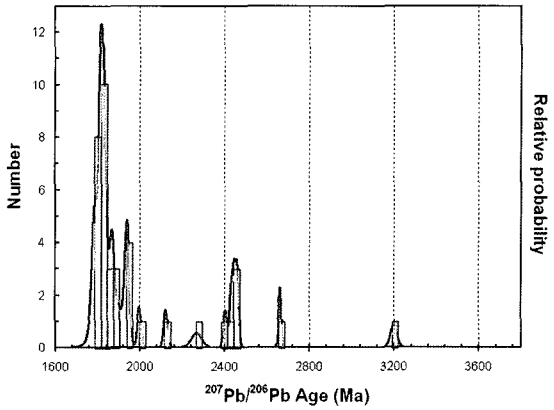

Fig. 6. Relative probability distribution-frequency histogram plot of concordant (less than 10 % discordancy) $^{207}Pb/^{206}Pb$ ages of detrital zircons from iron-bearing quartzite of the Seosan Group.

구조(Fig. 4) 역시 입자의 일부가 깎여나간 양상을 자주 보인다. 한편 변성작용 혹은 변질작용에 의한 저어콘의 원위치 성장(in situ growth)의 증거는 없다. 대부분의 입자는 진동형(oscillatory) 혹은 영역형(sector) 성분누대 등 마그마에서 성장한 저어콘의 특징적인 내부구조를 나타내고, 드물게 몇 입자는 어두운 CL의 외연부를 갖는 변성기원으로 추정되는 부분을 갖는다(예: Fig 4의 #31 입자의 2번 위치).

39 저어콘 입자에서 42점의 SHRIMP U-Pb 분석을 실시하였으며, 분석치의 요약과 콘코디아 그림은 각각 Table 1과 Fig. 5에 제시하였다. 분석치에서 대부분 저어콘의 Th/U 비는 마그마 기원에 해당하는 0.11~2.40의 높은 값을 보이나 드물게 변성기원 저어콘에 해당하는 낮은 값(~0.08)을 나타내는 자료도 있다. 4점을 제외한 38점의 분석치는 일치연령(concordant age)의 자료로 인정할 수 있는 불일치비(discordancy) 10% 이내의 양호한 결과를 보인다. 이들의 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 연령 범위는 1781~3198 Ma이며, 상대존재확률-도수누적분포그림(relative probability-frequency histogram, Fig. 6)에서 1781~1898 Ma(n = 19), 1935~1941 Ma(n = 4), 1996 Ma, 2120 Ma, 2403~2459 Ma(n = 5), 2661 Ma와 3198 Ma의 8 연령군을 이룬다. 한편 낮은 Th/U 비를 갖는 변성기원 저어콘의 3 분석치는 1829 Ma, 1871 Ma와 1935 Ma의 한정적인 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 연령 범위를 갖는다(Table 1의 21.1, 26.1과 31.2 분석치).

토 의

함철규암의 쇄성설 저어콘 연령과 근원암

앞에서 언급한 바와 같이 함철규암의 저어콘은 퇴적작용과 관련된 마모로 인한 거친 표면과 둥근 외형이 보존되어 있는 쇄설성 입자이고, 음극발광영상에 의한 저어콘 내부구조에서 퇴적된 후의 변성작용이나 변질작용에 의한 증거를 나타내지 않는다. 따라서 모든 저어콘의 분석치는 함철규암의 퇴적물질이 유래한 근원암에 포함된 저어콘의 연령을 지시한다(앞으로 "연령"은 별도의 언급이 없는 한 일치연령을 갖는 자료의 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 연령을 의미).

함철규암 쇄설성 저어콘의 연대적 특징은 약 1.8~2.5 Ga가 대부분이고 2.66 Ga와 3.30 Ga의 시생대 후기와 중기의 연령이 드물게 나타나는 것으로서, 이는 지금까지 경기편마암복합체의 기반암으로부터 보고된 SHRIMP 저어콘 연대와 잘 일치하는 것이다. 즉 화천의 미그마타이드질 백립암은 1.87 Ga의 변성작용에 의해 형성된 저어콘과 이의 상속핵으로 존재하는 2.30, 2.45, 2.65, 2.90 Ga의 저어콘을 포함하며(Lee *et al.*, 2000), 포천의 흑운모 편마암과 이에 수반하는 우백질 화강암맥 역시 1.87 Ga의 변성작용 및 이에 수반한 부분용융멜트로부터 형성된 저어콘과 2.10, 2.30, 2.34~2.62, 3.02, 3.11 Ga의 상속핵 저어콘을 갖는다(조등룡과 김용준, 2003). 또한 페름기 말-트라이아스기 초기의 변성작용에 영향을 받은 경기육괴 오대산 지역의

Table 1. Summary of SHRIMP U-Pb zircon data

Grain. spot	$^{206}Pb_c$	U ppm	Th ppm	Th/U	$^{206}Pb^*$ ppm	Age(Ma)		Discordancy (%)	Ratio corrected for common Pb[1]						Error correction factor
						$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	± %	$^{207}Pb^*/^{235}U$	± %	$^{206}Pb^*/^{238}U$	± %	
1.1	0.21	109	91	0.84	31	1849 ± 18	1787 ± 21	-3	0.10928	1.16	5.0041	1.63	0.3321	1.15	0.703
2.1	0.03	485	59	0.12	137	1839 ± 14	1816 ± 8	-1	0.11099	0.44	5.0511	0.99	0.3301	0.88	0.897
3.1	0.03	252	201	1.00	95	2340 ± 22	2444 ± 7	4	0.15891	0.39	9.5890	1.18	0.4377	1.11	0.943
4.1	0.02	132	152	1.15	39	1886 ± 19	1936 ± 14	3	0.11868	0.80	5.5601	1.43	0.3398	1.18	0.828
5.1	0.01	880	147	0.17	231	1717 ± 13	1814 ± 7	6	0.11086	0.40	4.6646	0.96	0.3052	0.88	0.910
6.1	0.09	249	105	0.42	71	1857 ± 16	1898 ± 13	2	0.11614	0.70	5.3455	1.23	0.3338	1.01	0.822
7.1	0.11	431	299	0.69	184	2594 ± 22	2661 ± 6	3	0.18085	0.36	12.3516	1.09	0.4953	1.02	0.943
8.1	0.03	313	329	1.05	119	2367 ± 19	2430 ± 7	3	0.15762	0.42	9.6442	1.04	0.4438	0.95	0.915
9.1	0.03	766	138	0.18	197	1685 ± 13	1922 ± 7	14	0.11769	0.37	4.8468	0.96	0.2987	0.89	0.924
10.1	0.06	477	680	1.43	129	1767 ± 15	1784 ± 9	1	0.10907	0.48	4.7430	1.06	0.3154	0.94	0.892
11.1	0.05	325	217	0.67	92	1836 ± 15	1808 ± 11	-2	0.11052	0.59	5.0201	1.13	0.3294	0.96	0.855
12.1	0.20	86	207	2.40	33	2364 ± 34	2266 ± 25	-4	0.14317	1.48	8.7468	2.25	0.4431	1.70	0.755
13.1	0.10	134	117	0.87	38	1843 ± 28	1835 ± 21	0	0.11217	1.16	5.1200	2.09	0.3311	1.74	0.832
14.1	0.39	577	68	0.12	163	1826 ± 15	1880 ± 25	3	0.11504	1.38	5.1931	1.67	0.3274	0.94	0.565
15.1	0.07	119	81	0.68	34	1854 ± 20	1790 ± 18	-3	0.10942	1.00	5.0276	1.61	0.3333	1.26	0.785
16.1	0.03	225	171	0.76	61	1763 ± 17	1833 ± 12	4	0.11207	0.66	4.8591	1.26	0.3145	1.08	0.852
17.1	0.07	271	160	0.59	73	1743 ± 15	1788 ± 11	3	0.10934	0.61	4.6813	1.17	0.3105	1.00	0.852
18.1	0.05	181	51	0.28	100	3189 ± 75	3198 ± 16	0	0.25209	1.01	22.2482	3.15	0.6401	2.99	0.948
19.1	0.06	400	145	0.36	113	1835 ± 16	1866 ± 9	2	0.11409	0.52	5.1813	1.11	0.3294	0.98	0.883
20.1	0.04	203	286	1.41	57	1819 ± 16	1842 ± 13	1	0.11260	0.70	5.0598	1.25	0.3259	1.04	0.830

Table 1. Continued

Grain. spot	$^{206}Pb_c$	U ppm	Th ppm	Th/U	$^{206}Pb^*$ ppm	Age(Ma) $^{206}Pb/^{238}U$	Age(Ma) $^{207}Pb/^{206}Pb$	Discordancy (%)	Ratio corrected for common Pb(1) $^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	± %	$^{207}Pb^*/^{235}U$	± %	$^{206}Pb^*/^{238}U$	± %	Error correction factor
21.1	0.03	810	53	0.07	217	1749 ± 14	1871 ± 10	7	0.11443	0.56	4.9189	1.06	0.3118	0.91	0.852
22.1	0.05	316	73	0.23	84	1729 ± 17	1825 ± 11	6	0.11157	0.61	4.7325	1.27	0.3076	1.12	0.879
23.1	--	461	52	0.11	136	1906 ± 16	1936 ± 10	2	0.11865	0.55	5.6271	1.11	0.3440	0.96	0.869
24.1	0.05	827	206	0.25	222	1751 ± 14	1808 ± 7	3	0.11054	0.39	4.7570	0.99	0.3121	0.92	0.922
25.1	0.17	124	66	0.53	39	1995 ± 20	1864 ± 18	-7	0.11398	1.02	5.6986	1.56	0.3626	1.17	0.755
26.1	0.00	114	9	0.08	36	1998 ± 24	1935 ± 16	-3	0.11860	0.90	5.9434	1.68	0.3634	1.42	0.844
27.1	0.01	100	93	0.93	40	2491 ± 25	2452 ± 13	-2	0.15967	0.76	10.3833	1.43	0.4716	1.21	0.846
28.1	0.03	389	90	0.23	151	2405 ± 20	2459 ± 7	2	0.16028	0.38	9.9950	1.05	0.4523	0.98	0.931
29.1	0.00	550	447	0.81	157	1844 ± 15	1825 ± 12	-1	0.11157	0.66	5.0944	1.14	0.3312	0.92	0.812
30.1	0.09	338	108	0.32	110	2076 ± 18	2121 ± 10	2	0.13171	0.55	6.8999	1.15	0.3799	1.01	0.879
31.1	0.02	431	250	0.58	112	1703 ± 21	1781 ± 16	5	0.10892	0.87	4.5404	1.63	0.3023	1.38	0.847
31.2	0.00	524	43	0.08	150	1851 ± 15	1829 ± 8	-1	0.11178	0.45	5.1259	1.06	0.3326	0.96	0.906
32.1	1.23	1012	120	0.12	266	1705 ± 14	1797 ± 48	5	0.10988	2.65	4.5858	2.81	0.3027	0.94	0.333
32.2	0.06	473	71	0.15	133	1827 ± 16	1997 ± 9	9	0.12275	0.50	5.5468	1.11	0.3277	0.99	0.892
33.1	0.03	262	119	0.46	99	2349 ± 22	2403 ± 10	2	0.15509	0.57	9.4031	1.24	0.4397	1.11	0.890
34.1	0.04	543	240	0.44	113	1396 ± 12	1936 ± 11	39	0.11865	0.61	3.9555	1.15	0.2418	0.98	0.849
34.2	0.09	1077	298	0.28	141	914 ± 8	1813 ± 11	98	0.11081	0.58	2.3270	1.10	0.1523	0.93	0.846
35.1	0.01	633	222	0.35	176	1803 ± 15	1828 ± 13	1	0.11176	0.70	4.9728	1.17	0.3227	0.94	0.801
36.1	0.06	284	149	0.52	89	2012 ± 19	2361 ± 10	17	0.15133	0.61	7.6428	1.27	0.3663	1.11	0.876
37.1	0.08	508	343	0.68	139	1778 ± 15	1811 ± 17	2	0.11071	0.94	4.8474	1.36	0.3176	0.98	0.721
38.1	0.05	684	313	0.46	179	1711 ± 13	1824 ± 8	7	0.11152	0.41	4.6748	0.99	0.3040	0.90	0.908
39.1	0.02	458	83	0.18	138	1941 ± 16	1941 ± 8	0	0.11897	0.44	5.7625	1.06	0.3513	0.97	0.909

Errors are 1σ; Pbc and Pb* indicate the common and radiogenic portions, respectively.
Error in standard calibration was 0.33% (not included in above errors but required when comparing data from different mounts).
(1) Common Pb corrected using measured ^{204}Pb.

스피넬-백립암과 미그마타이트질 편마암도 각각 1.85 Ga의 화성기원의 저어콘과 1.86, 2.19, 2.49 Ga의 쇄설성 기원의 저어콘 핵을 포함한다(Oh *et al.*, 2006). 한편 경기육괴 서부에 해당하는 대이작도의 편마암에서는 약 2.51 Ga 연령의 저어콘이 보고된 바 있다(Lee and Cho, 2006). 따라서 서산층군의 함철규암은 저어콘 연대와 경기육괴 남서부에 위치하는 공간적인 특징으로 보아 경기편마암복합체의 기반암을 근원암으로 하여 형성되었다고 규정할 수 있다.

서산층군의 퇴적시기와 층서적 문제점

함철규암의 가장 젊은 쇄설성 저어콘의 연령은 약 1.78 Ga로서 이는 함철규암의 최대 퇴적시기를 제한한다. 즉, 함철규암은 최대한 약 1.78 Ga 이후에 퇴적되었고, 따라서 약 1.8~1.9 Ga의 광역변성작용을 경험한 경기편마암복합체(Lee, *et al.*, 2000; Sagong *et al.*, 2003; 조등룡과 김용준, 2003)와는 부정합적인 관계로 위에 놓일 것이다.

이 연구결과는 함철규암이 속하는 서산층군이 화강편마암에 의해 관입당하며(김동학과 황재하 1982; 장태우와 이상용, 1982; 이병주 외, 1996), TIMS U-Pb 저어콘 연대측정에 의한 화강편마암의 관입시기가 1766 ± 26 Ma(Turek and Kim, 1996)이라는 기존의 연구결과와 상충된다. 따라서 이러한 서산층군에 대한 문제를 확실히 해결하기 위해서는 (1) 함철규암과 서산층군의 다른 변성퇴적암과의 관계, (2) 화강편마암의 정확한 관입시기, (3) 화강편마암이 여러 시기의 관입복합체일 가능성, (4) 함철규암과 서산층군의 다른 변성퇴적암의 퇴적시기의 하한에 대한 체계적인 연구가 필요하며, 이를 바탕으로 궁극적으로 "서산층군"의 시대와 층서는 다시 정의되어야 한다.

결 론

서산층군의 시기를 명확하게 하기 위해 함철규암의 한 시료를 대상으로 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저어콘은 CL에 의한 내부구조에서 퇴적된 후의 변성작용이나 변질작용에 의한 증거를 나타내지 않으며, 퇴적작용과 관련된 마모된 외형이 보존되어 있는 쇄설성 입자이다.

(2) 42점의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 분석을 실시하였고, 이들 중 38점의 분석치는 일치연령의 자료로 인정되며 1781~1898 Ma(n = 19), 1935~1941 Ma(n = 4), 1996 Ma, 2120 Ma, 2403~2459 Ma(n = 5), 2661 Ma와 3198 Ma의 8 연령군을 이룬다. 이는 지금까지 경기편마암복합체의 기반암으로부터 보고된 SHRIMP 저어콘 연대 자료와 잘 일치하는 것이다.

(3) 이러한 연대자료는 함철규암이 최대 약 1.78 Ga 이후에 퇴적된 암석으로서 경기편마암복합체의 기반암과는 부정합으로 피복하는 관계임을 지시한다. 또한 함철규암이 중국의 시생대 함철층과 대비될 가능성을 부정한다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구의 "지역대학 우수과학자 지원연구"와 한국지질자원연구원의 기본사업인 "동북아/한반도 지각진화연구"의 일환으로 수행되었다. 전자현미경 CL 영상 획득에 도움을 준 신재봉 박사님, 초고를 심사하여 오류를 지적하고 건설적인 제안을 해주신 박계헌 교수님과 이승렬 박사님께 감사드린다.

참고문헌

김동학, 황재하, 1982, 대산 · 이곡 지질도폭 설명서. 한국동력자원연구소, 1-27.

김정택, 1965, 서산지구철광상조사보고. 국립지질조사소, 지질광상조사연구보고서 8호, 179-157.

나기창, 김형식, 이상헌, 1982, 서산층군의 층서 및 변성작용. 광산지질, 15, 33-39.

손치무, 1971, 동아의 선캠브리아계의 층서에 관하여. 광산지질, 4, 19-32.

이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화, 1996, 1 : 250,000 대전 지질도폭설명서. 한국자원연구소 KR-95(S)-1, 59 p.

이상만, 감형식, 나기창, 박배영, 1989, 당진 · 장고항도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 1-15.

장태우, 이상용, 1982, 1 : 50,000 서산 · 모항 지질도폭 설명서. 한국동력자원연구소, 1-30.

조등룡, 2004, 저어콘 아입자분석을 위한 효율적인 광물분리 및 시료준비 방법. 암석학회지, 13, 126-132.

조등룡, 김용준, 2003, 경기육괴 포천 지역의 흑운모 편마암과 우백질 화강암맥에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정: 광역변성작용 연령 및 퇴적시기의 제한. 대한지질학회 2003년 추계학술발표회 초록집, p. 76.

조문섭, 김태훈, 김현철, 2004, 옥천변성대 규장질 변성응회암의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대: 신원생대(약 7.5 억년전) 화산활동. 암석학회지, 13, 119-125.

주승환, 진명식, 윤현수, 김동학, 1982, Rb/Sr 연대측정 연구 (서산화강편마암 및 화강암, 평해 온정리화강암, 기타 지역 화강암류). 한국동력자원연구소 조사연구보고 제13호, 193-208.

최위찬, 김규봉, 홍승호, 이병주, 황재하, 박기화, 황상기, 최

범영, 송교영, 진명식, 1995. 한국지질도(1 : 1,000,000). 한국자원연구소.

Chang, E.Z., 1996, Collisional orogene between north and south China and its eastern extension in the Korean Peninsula. J. Southeast Asian Earth Sci. 13, 267-277.

Lee, S.R., Cho, M., Yi, K and Stern R.A., 2000, Early Proterozoic Granulites in Central Korea: Tectonic Correlation with Chinese Cratons. J. Geol., 108, 729-749.

Lee Y. and Cho. M, 2006, Partial melting origin of Neoarchean migmatitte in Daeijak Island, South Korea: A preliminary study. Proceedings of the Annual Joint Conference, Petrological Socsiety of Korea and Mineralogical Society of Korea, 59 p.

Ludwig, K.R., 2001a, SQUID 1.00: A user's manual. Berkeley Geochronology Center special publication, No. 2, Berkeley, USA, 17 p.

Ludwig, K.R., 2001b, User's manual for Isoplot/Ex, version 2.49: a geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley Geochronology Center special publication, No. 1a, Berkeley, USA, 59 p.

Na, K.C, 1992, A study on the metamorphism in the southwestern part of Gyeonggi Massif. J. Petrol. Soc. Korea, 1, 25-33.

Oh C.W., Kim S.W. and I.S., Williams, 2006, Spinel granulite in Odesan area, South Korea: Tectonic implications for the collision between the North and South China blocks. Lithos, in presss.

Ree, J.-H., Cho, M., Kwon, S.-T. and Nakamura, E., 1996, Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: the Imjingang belt. Geol., 24, 1071-1074.

Sagong H., Cheong C.-S.,and Kwon S.-T., 2003, Paleoproterozoic orogeny in South Korea: evidence from Sm-Nd and Pb step-leaching garnet ages of Precambrian basement rocks. Precambrian Res., 122, 275-295.

Turek, A and Kim, C.B., 1996, U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massifs, Korea. Geochemical J., 30, 231-249

Williams, I.S., 1998, U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben M.A., Shanks, III, W.C. and Ridley, W.I. (eds.), Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes, Rev. Econ. Geol., 7, 1-35.

Williams, I.S. and Meyer, C., 1998, U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. J. Geophys. Res., 89, B525-B534.

Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam Fault Systems, eastern Asia. Tectonics, 12, 810- 813.

(2006년 7월 20일 접수; 2006년 8월 11일 채택)