

<Short Note>

평창탄전의 상부고생대 사동층 쇄설성 저어콘의 U-Pb 연대:  
지질시대와 기원지에 대한 소고

이용일<sup>1</sup> · 임현수<sup>2,\*</sup> · 최태진<sup>1</sup> · Yuji Orihashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구환경과학부  
<sup>2</sup>한국해양연구원 부설 극지연구소  
<sup>3</sup>동경대학교 지진연구소

Yong Il Lee, Hyoun Soo Lim, Taejin Choi and Yuji Orihashi, 2010, Detrital zircon U-Pb ages of the late Paleozoic Sadong Formation in the Pyeongchang coalfield, Gangweon-do Province, Korea: implications for depositional age and provenance. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 46, no. 1, p. 73-81

(Yong Il Lee and Taejin Choi, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea; Hyoun Soo Lim, Korea Polar Research Institute, KORDI, Incheon 406-840, Korea; Yuji Orihashi, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo 113-0032, Japan)

1. 서론

강원도 평창군과 정선군에는 정선대향사를 축으로 하여 동부에는 정선탄전이, 서부에는 평창탄전이 각각 분포하며, 두 탄전지대에 분포하는 석탄층을 포함하는 고생대 석탄기에서 중생대 트라이아스기 초기에 걸친 지층은 평안누층군으로 명명되었다. 이 지역의 평안누층군은 정창희 외(1979)에 의하여 하부로부터 홍점층, 사동층, 고방산층, 녹암층으로 분류되었으며, 평창읍 동쪽을 조사한 최근 대한광업진흥공사(2005)의 보고서에서도 하부의 두 지층은 홍점층과 사동층으로 기재되어 있다. 그러나, 동아응용지질건설탄트(1975, 1978)는 남한의 평안누층군 표식지인 삼척탄전의 층서와 대비시켜 평창탄전의 평안누층군을 하부로부터 만항층, 금천층, 밤치층, 장성층, 옥갑산층, 상원산층, 박지산층으로 구분하기도 하였다. 이 연구에서는 정창희 외(1979)의 층서 기준을 따라 폐름기로 알려진 사동층 저어콘의 U-Pb 연대를 보고하고, 이를 바탕으로 사동층 퇴적물의 기원지를 유추해보고자 한다.

평창탄전에서 사동층은 하부에 놓인 홍점층을 정합으로 덮는 것으로 보고되었다. 이 연구에서는 평창탄전 최남부의 삼방산 주위에 발달한 영월형 조선

누층군의 최하부층인 삼방산층의 바로 북쪽에 마차리 드러스트로 접촉하고 있는 평안누층군 사동층을 대상으로 하였다(그림 1). 이 지역의 사동층 하부 구간에는 연회색-회색의 중립 내지 세립질 사암이 우

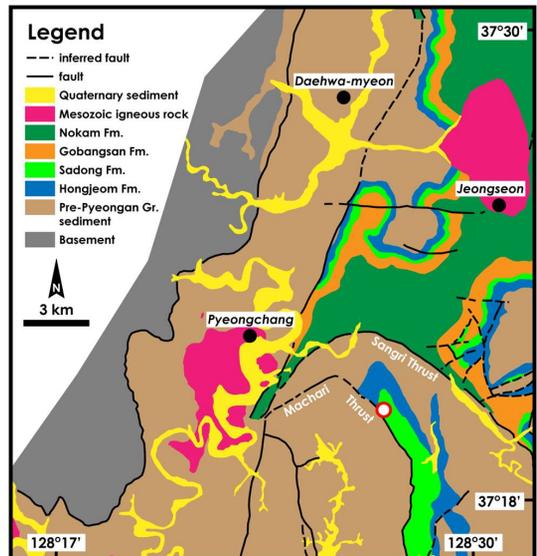
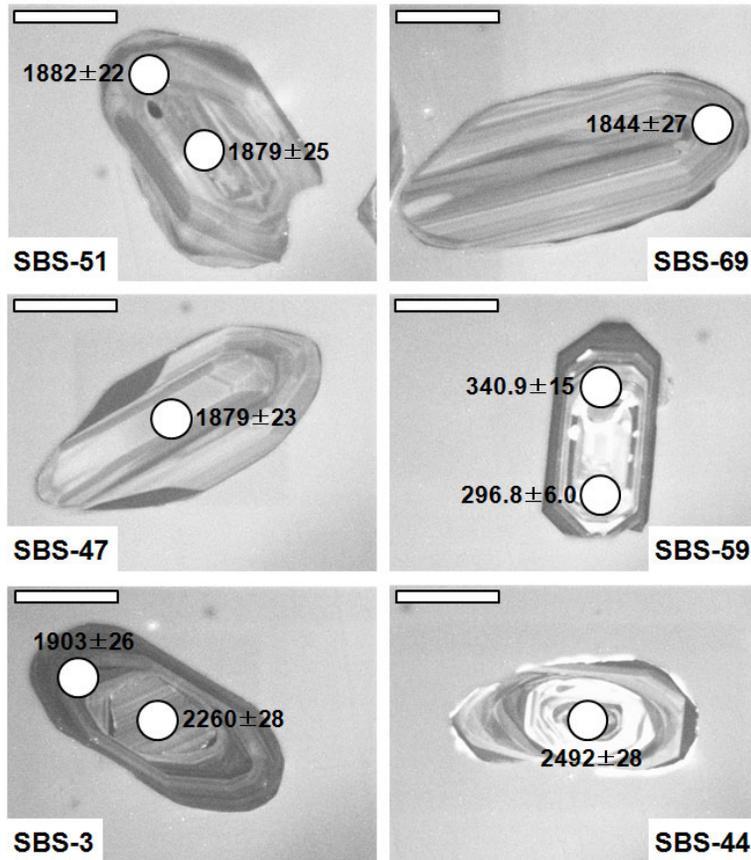


Fig. 1. Geological map of the Pyeongchang coalfield area (after Cheong et al., 1979). Sampling locality is marked by open circle.

\* Corresponding author: +82-32-260-6117, E-mail: tracker@kopri.re.kr



**Fig. 2.** Representative selection of cathodoluminescence (CL) zircon images from the Sadong Formation dated in this study. All scale bars represents 100  $\mu$ m.

세하고 그 상위에 연회색-회색의 세일이 분포하며, 사동층의 전 층이 발달하지 않아 정확하지는 않지만 대략 150 m 정도의 층후를 갖는 것으로 추정된다(대한광업진흥공사, 2005). 이 연구에서 시료를 채취한 위치는 강원도 평창군 평창읍 동남부의 삼방산 바로 북쪽에 위치한 북쪽 구국도 42번 도로변(37°20'25.7" N/128°27'12.8" E; 그림 1)으로 사동층의 최하부에 해당하는 곳이며, 이곳에서 채취한 녹회색 세립사암에서 저어콘을 분리하여 U-Pb 연대를 측정하였다. 시료를 채취한 지역 인근의 사동층 내에서 탄층을 개발한 이력이 있으며, 시료를 채취한 지점의 동쪽에 위치한 국도 42번 도로의 맷둔재 터널공사 시 터널 내에서 탄층이 관찰되었다(대한광업진흥공사, 2005). 이렇게 탄층이 협재되어 있는 것으로 보아 연구된 사동층은 삼척탄전의 장성층에 대비되는 지층으로

생각된다.

## 2. 연구방법

1 kg 정도의 녹회색 사암 시료 3개를 층서적으로 약 1 m 간격으로 채취하였다. 채취한 시료는 실험실에서 잘게 분쇄한 후 Wilfly table과 자성 및 중액 분리 과정을 거쳐 63-125  $\mu$ m 크기의 중광물을 농집시켰고, 실체현미경 하에서 수작업으로 저어콘 입자들을 분리하였다. 저어콘이 산출되지 않은 한 암석 시료를 제외한 두 개의 사암 시료에서 분리한 저어콘 중에서 상대가 양호한 96개의 입자를 PFA 테프론 슈트에 고정시킨 후 연마하였다. 저어콘 결정의 내부 구조는 주사전자현미경(JEOL JSM-5400)을 이용하여 관찰하였고, U-Pb 연대는 동경대학교 지진연

**Table 1.** U-Pb isotopic data for zircon crystal determined by LA-ICP-MS.

Sample Code	center /margin	Th/U	<sup>206</sup> Pbc* (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> P	Error (2σ)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	Error (2σ)	Disc** (%)	<sup>238</sup> U- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>235</sup> U- <sup>207</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)
SBS-1	center	0.15	0.48	0.0870	±0.0011	0.1652	± 0.0024	1.982	± 0.038	-9.0	985.7	±14.1	1,109.4	±21.4	1,361	± 17.7
SBS-2	center	0.15	n.d	0.1132	±0.0015	0.3498	± 0.0050	5.460	± 0.107	0.0	1,933.8	±27.8	1,894.3	±37.0	1,852	± 24.6
	margin	0.20	n.d	0.1161	±0.0016	0.3121	± 0.0134	4.998	± 0.224	-2.7	1,751.1	±75.0	1,818.9	±81.6	1,898	± 25.5
SBS-3	center	0.44	n.d	0.1426	±0.0018	0.4209	± 0.0060	8.278	± 0.157	0.0	2,264.5	±32.4	2,261.9	±43.0	2,260	± 28.3
	margin	0.06	0.37	0.1165	±0.0016	0.3204	± 0.0065	5.145	± 0.126	-2.7	1,791.6	±36.4	1,843.4	±45.3	1,903	± 26.2
SBS-5	margin	0.13	1.08	0.1137	±0.0013	0.3059	± 0.0043	4.796	± 0.088	-5.4	1,720.3	±24.4	1,784.2	±32.7	1,860	± 21.7
SBS-7	center	0.61	0.15	0.1132	±0.0015	0.3555	± 0.0051	5.551	± 0.109	0.0	1,961.0	±28.2	1,908.4	±37.6	1,852	± 25.0
	margin	0.49	n.d	0.1147	±0.0016	0.3485	± 0.0051	5.511	± 0.112	0.0	1,927.3	±28.0	1,902.2	±38.6	1,876	± 26.6
SBS-8	margin	0.23	0.10	0.1154	±0.0017	0.3095	± 0.0071	4.924	± 0.134	-4.7	1,738.1	±39.9	1,806.3	±49.1	1,887	± 27.5
SBS-11	center	0.37	0.09	0.1140	±0.0016	0.3570	± 0.0082	5.612	± 0.152	0.0	1,967.9	±45.2	1,917.9	±52.0	1,865	± 26.9
SBS-12	center	0.41	0.11	0.1129	±0.0017	0.3112	± 0.0072	4.844	± 0.133	-1.9	1,746.7	±40.1	1,792.5	±49.0	1,847	± 27.4
SBS-13	center	0.58	0.32	0.1149	±0.0017	0.3309	± 0.0076	5.241	± 0.143	0.0	1,842.8	±42.3	1,859.2	±50.8	1,878	± 27.7
SBS-16	center	0.28	0.12	0.1143	±0.0019	0.2889	± 0.0030	4.552	± 0.090	-11.3	1,635.9	±17.0	1,740.4	±34.3	1,869	± 31.2
SBS-18	center	0.25	n.d	0.1135	±0.0018	0.3311	± 0.0034	5.184	± 0.098	0.0	1,843.9	±18.8	1,849.9	±34.9	1,857	± 29.5
SBS-20	center	0.67	n.d	0.0571	±0.0017	0.0568	± 0.0006	0.447	± 0.014	-0.9	355.8	±4.1	375.0	±11.9	496	± 14.6
	margin	0.87	n.d	0.0552	±0.0031	0.0537	± 0.0007	0.408	± 0.023	0.0	337.0	±4.6	347.5	±19.9	419	± 23.3
SBS-21	center	0.51	n.d	0.1152	±0.0019	0.3399	± 0.0035	5.397	± 0.106	0.0	1,886.1	±19.6	1,884.3	±37.0	1,883	± 31.4
	margin	0.48	0.01	0.1144	±0.0015	0.3151	± 0.0135	4.970	± 0.223	-0.3	1,765.8	±75.6	1,814.2	±81.3	1,871	± 24.8
SBS-22	margin	1.17	0.37	0.1139	±0.0020	0.3502	± 0.0037	5.497	± 0.111	0.0	1,935.5	±20.5	1,900.1	±38.5	1,862	± 32.2
SBS-24	center	0.37	0.10	0.1151	±0.0019	0.3599	± 0.0037	5.714	± 0.110	0.0	1,981.9	±20.5	1,933.4	±37.4	1,883	± 30.7
	margin	0.31	0.15	0.1144	±0.0014	0.3114	± 0.0053	4.910	± 0.103	-4.0	1,747.4	±29.9	1,803.8	±37.7	1,870	± 22.5
SBS-25	center	0.45	0.09	0.1137	±0.0014	0.3565	± 0.0061	5.588	± 0.119	0.0	1,965.4	±33.7	1,914.2	±40.8	1,860	± 23.5

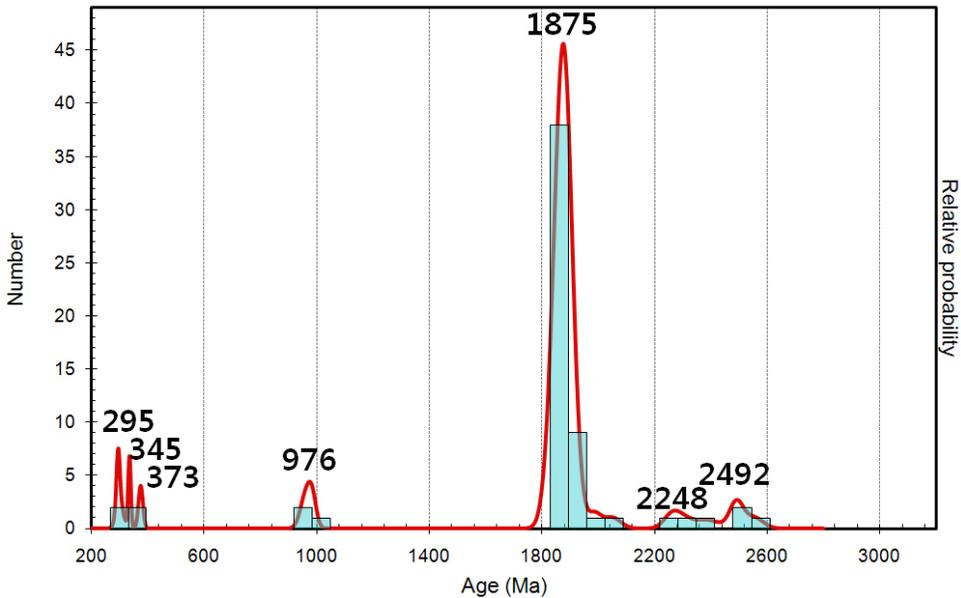
Sample Code	center /margin	Th/U	<sup>206</sup> Pbc* (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> P	Error (2σ)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	Error (2σ)	Disc** (%)	<sup>238</sup> U- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>235</sup> U- <sup>207</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)
SBS-26	center	0.89	n.d	0.1257	±0.0017	0.4040	± 0.0070	7.002	± 0.152	0.0	2,187.6	±37.8	2,111.6	±45.9	2,039	±27.0
	margin	0.37	n.d	0.1220	±0.0014	0.3695	± 0.0063	6.213	± 0.128	0.0	2,026.9	±34.6	2,006.3	±41.5	1,986	±23.1
SBS-27	center	0.43	n.d	0.1148	±0.0014	0.3591	± 0.0061	5.684	± 0.118	0.0	1,977.9	±33.8	1,928.9	±40.1	1,877	±22.3
	margin	0.24	0.09	0.1154	±0.0014	0.3486	± 0.0060	5.548	± 0.115	0.0	1,927.8	±32.9	1,908.0	±39.7	1,887	±22.4
SBS-28	center	0.23	0.14	0.1139	±0.0013	0.3359	± 0.0057	5.275	± 0.108	0.0	1,867.0	±31.8	1,864.8	±38.3	1,863	±21.4
	margin	0.19	n.d	0.1165	±0.0014	0.3363	± 0.0057	5.401	± 0.112	0.0	1,868.7	±31.9	1,884.9	±39.2	1,903	±22.5
SBS-29	center	0.22	0.01	0.1163	±0.0013	0.3439	± 0.0059	5.515	± 0.112	0.0	1,905.5	±32.4	1,902.9	±38.8	1,901	±21.3
SBS-31	center	0.57	0.07	0.1153	±0.0018	0.3621	± 0.0026	5.755	± 0.098	0.0	1,992.2	±14.2	1,939.6	±33.1	1,885	±29.2
SBS-32	center	0.62	0.03	0.1147	±0.0013	0.3314	± 0.0019	5.239	± 0.066	0.0	1,845.0	±10.7	1,858.9	±23.4	1,875	±21.0
	margin	0.34	n.d	0.1161	±0.0016	0.3316	± 0.0142	5.309	± 0.239	0.0	1,846.1	±79.1	1,870.2	±84.1	1,898	±25.8
SBS-33	center	0.57	0.38	0.1139	±0.0015	0.2853	± 0.0018	4.482	± 0.067	-13.0	1,618.1	±10.5	1,727.7	±26.0	1,864	±25.3
SBS-34	center	0.30	0.17	0.1139	±0.0012	0.2974	± 0.0017	4.669	± 0.057	-9.2	1,678.2	±9.5	1,761.7	±21.4	1,863	±20.1
SBS-36	center	0.54	n.d	0.1148	±0.0016	0.3312	± 0.0022	5.244	± 0.080	0.0	1,844.2	±12.1	1,859.8	±28.3	1,878	±25.8
SBS-38	center	1.08	0.07	0.1696	±0.0021	0.4669	± 0.0031	10.916	± 0.153	-1.5	2,470.0	±16.2	2,515.9	±35.2	2,554	±31.6
SBS-40	center	0.03	0.13	0.1162	±0.0012	0.3440	± 0.0019	5.512	± 0.063	0.0	1,906.1	±10.5	1,902.4	±21.8	1,899	±19.1
SBS-42	center	0.27	0.34	0.1157	±0.0014	0.2893	± 0.0050	4.613	± 0.097	-12.3	1,637.9	±28.4	1,751.6	±36.9	1,891	±22.7
SBS-44	center	0.43	0.10	0.1634	±0.0018	0.4748	± 0.0082	10.699	± 0.219	0.0	2,504.4	±43.3	2,497.3	±51.2	2,492	±27.6
SBS-46	center	0.14	0.38	0.1147	±0.0012	0.3234	± 0.0056	5.113	± 0.104	-1.0	1,806.3	±31.1	1,838.2	±37.3	1,875	±20.1
SBS-47	center	0.47	0.01	0.1149	±0.0014	0.3505	± 0.0061	5.554	± 0.118	0.0	1,937.0	±33.6	1,908.9	±40.6	1,879	±23.1
SBS-48	center	0.31	0.91	0.1143	±0.0012	0.3086	± 0.0053	4.865	± 0.099	-4.9	1,734.0	±29.9	1,796.1	±36.6	1,870	±20.4
SBS-50	center	0.38	0.24	0.1151	±0.0014	0.3227	± 0.0065	5.122	± 0.120	-1.1	1,803.0	±36.2	1,839.7	±43.2	1,882	±22.8
SBS-51	center	0.28	0.16	0.1149	±0.0016	0.2925	± 0.0125	4.636	± 0.208	-7.8	1,654.0	±70.9	1,755.6	±78.9	1,879	±25.3
	margin	0.16	n.d	0.1151	±0.0013	0.3360	± 0.0067	5.332	± 0.123	0.0	1,867.4	±37.4	1,874.0	±43.2	1,882	±21.5

Sample Code	center /margin	Th/U	<sup>206</sup> Pbc* (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> P	Error (2σ)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	Error (2σ)	Disc** (%)	<sup>238</sup> U- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>235</sup> U- <sup>207</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)
SBS-54	margin	0.29	0.30	0.1140	±0.0015	0.3106	± 0.0063	4.883	± 0.117	-3.6	1,743.7	±35.1	1,799.2	±43.0	1,865	±24.0
SBS-56	center	0.52	0.06	0.1151	±0.0016	0.2906	± 0.0057	4.612	± 0.111	-10.9	1,644.7	±32.4	1,751.3	±42.0	1,882	±25.8
	margin	0.33	0.19	0.1152	±0.0013	0.3190	± 0.0064	5.067	± 0.116	-2.3	1,784.9	±35.7	1,830.5	±41.8	1,883	±20.9
SBS-57	margin	0.39	0.09	0.1164	±0.0014	0.3280	± 0.0066	5.266	± 0.124	-0.8	1,828.9	±36.7	1,863.3	±43.8	1,903	±23.3
SBS-59	center	1.02	1.53	0.0544	±0.0008	0.0471	± 0.0009	0.354	± 0.009	0.0	296.8	±6.0	307.4	±7.6	390	±5.6
	center	0.72	0.79	0.0551	±0.0010	0.0543	± 0.0023	0.413	± 0.019	0.0	340.9	±14.6	351.0	±16.4	419	±7.8
SBS-60	margin	0.34	0.34	0.1118	±0.0016	0.2736	± 0.0054	4.217	± 0.103	-13.7	1,559.2	±30.8	1,677.2	±40.9	1,829	±26.1
SBS-62	margin	0.39	0.22	0.1128	±0.0015	0.2838	± 0.0056	4.414	± 0.104	-11.1	1,610.5	±31.6	1,714.9	±40.3	1,845	±23.9
SBS-64	margin	0.21	0.02	0.1174	±0.0015	0.2963	± 0.0058	4.796	± 0.112	-11.2	1,673.0	±32.8	1,784.2	±41.7	1,917	±24.5
SBS-65	center	0.44	0.50	0.0728	±0.0011	0.1605	± 0.0032	1.612	± 0.041	0.0	959.6	±18.9	974.7	±24.6	1,010	±15.9
SBS-66	margin	0.26	0.17	0.0949	±0.0013	0.1619	± 0.0032	2.119	± 0.051	-14.5	967.3	±19.0	1,154.8	±27.8	1,527	±21.1
SBS-67	margin	0.46	n.d	0.1460	±0.0022	0.4363	± 0.0087	8.784	± 0.220	0.0	2,334.1	±46.7	2,315.7	±58.1	2,300	±34.9
SBS-69	margin	0.22	0.35	0.1127	±0.0016	0.3330	± 0.0048	5.175	± 0.106	0.0	1,853.0	±26.7	1,848.5	±37.9	1,844	±26.9
SBS-71	center	0.16	0.13	0.1149	±0.0016	0.3110	± 0.0045	4.925	± 0.100	-4.6	1,745.6	±25.1	1,806.5	±36.6	1,878	±26.8
SBS-73	center	0.47	0.05	0.1144	±0.0017	0.3638	± 0.0053	5.737	± 0.119	0.0	2,000.3	±29.0	1,936.8	±40.2	1,870	±27.9
SBS-74	margin	0.37	0.35	0.1119	±0.0017	0.3267	± 0.0048	5.041	± 0.107	0.0	1,822.3	±26.5	1,826.2	±38.8	1,831	±28.3
SBS-75	margin	0.29	n.d	0.1264	±0.0019	0.3490	± 0.0051	6.080	± 0.126	-3.2	1,929.7	±28.0	1,987.4	±41.3	2,049	±30.5
SBS-77	margin	0.29	0.08	0.1169	±0.0016	0.2883	± 0.0041	4.646	± 0.093	-13.8	1,633.1	±23.4	1,757.5	±35.1	1,909	±26.6
SBS-79	center	1.05	0.01	0.1631	±0.0015	0.4414	± 0.0040	9.928	± 0.127	-3.7	2,356.8	±21.1	2,428.0	±31.1	2,489	±22.7
	margin	0.36	0.03	0.1477	±0.0013	0.3983	± 0.0036	8.110	± 0.103	-5.5	2,161.2	±19.3	2,243.3	±28.6	2,320	±21.1
SBS-80	center	1.23	0.15	0.1137	±0.0017	0.3153	± 0.0032	4.943	± 0.091	-2.7	1,766.5	±17.7	1,809.6	±33.2	1,860	±28.6
	margin	0.61	0.02	0.1180	±0.0016	0.3081	± 0.0030	5.012	± 0.085	-8.7	1,731.6	±16.9	1,821.2	±30.9	1,926	±26.7
SBS-81	center	0.56	0.99	0.0563	±0.0008	0.0480	± 0.0021	0.372	± 0.017	0.0	302.1	±12.9	321.2	±14.5	463	±6.6

Sample Code	center /margin	Th/U	<sup>206</sup> Pbc* (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> P	Error (2σ)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	Error (2σ)	Disc** (%)	<sup>238</sup> U- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>235</sup> U- <sup>207</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Error (2σ)
	margin	1.02	0.29	0.0577	±0.0009	0.0543	± 0.0005	0.432	± 0.008	-4.1	340.8	±3.2	364.7	±6.6	520	± 8.2
	margin	0.64	0.33	0.0580	±0.0008	0.0561	± 0.0005	0.448	± 0.007	-4.3	351.7	±3.2	376.2	±6.0	530	± 7.0
SBS-84	center	0.22	0.20	0.1151	±0.0011	0.3409	± 0.0031	5.412	± 0.072	0.0	1,891.0	±17.0	1,886.7	±25.1	1,883	± 18.5
	margin	0.16	0.02	0.1171	±0.0011	0.3163	± 0.0028	5.107	± 0.066	-6.1	1,771.9	±15.8	1,837.3	±23.6	1,913	± 17.8
SBS-85	center	0.15	0.17	0.1126	±0.0017	0.2905	± 0.0074	4.509	± 0.132	-7.9	1,643.9	±41.7	1,732.6	±50.7	1,842	± 27.0
SBS-88	margin	0.69	0.03	0.1139	±0.0017	0.3425	± 0.0087	5.379	± 0.157	0.0	1,898.8	±48.1	1,881.4	±54.9	1,863	± 27.0
SBS-89	margin	0.43	0.15	0.1146	±0.0018	0.3435	± 0.0087	5.428	± 0.163	0.0	1,903.7	±48.5	1,889.3	±56.7	1,874	± 29.7
SBS-90	center	0.20	0.20	0.1170	±0.0017	0.3618	± 0.0074	5.836	± 0.147	0.0	1,990.5	±40.7	1,951.8	±49.3	1,912	± 28.3
	margin	0.09	n.d	0.1170	±0.0017	0.3365	± 0.0085	5.427	± 0.159	0.0	1,869.6	±47.4	1,889.0	±55.4	1,911	± 28.2
SBS-91	center	1.31	n.d	0.1154	±0.0017	0.3391	± 0.0069	5.396	± 0.135	0.0	1,882.6	±38.4	1,884.2	±47.2	1,887	± 27.3
	margin	0.29	0.13	0.1146	±0.0017	0.3405	± 0.0086	5.379	± 0.158	0.0	1,889.3	±47.9	1,881.4	±55.2	1,873	± 27.7
SBS-92	center	0.91	0.32	0.1537	±0.0026	0.4346	± 0.0112	9.211	± 0.284	0.0	2,326.5	±59.8	2,359.1	±72.7	2,388	± 40.6
	margin	0.13	0.25	0.1135	±0.0017	0.3192	± 0.0081	4.995	± 0.147	0.0	1,785.8	±45.3	1,818.4	±53.4	1,857	± 27.5
SBS-93	center	0.80	0.20	0.1147	±0.0020	0.3299	± 0.0069	5.218	± 0.141	0.0	1,837.9	±38.2	1,855.4	±50.3	1,876	± 32.7
	margin	0.74	0.23	0.1137	±0.0018	0.3161	± 0.0065	4.955	± 0.127	-1.4	1,770.4	±36.3	1,811.6	±46.5	1,860	± 28.7
SBS-96	center	1.52	1.07	0.0477	±0.0011	0.0602	± 0.0013	0.395	± 0.012	0.0	376.6	±7.8	338.3	±10.6	83	± 1.9
	margin	1.36	n.d	0.0592	±0.0013	0.0616	± 0.0013	0.503	± 0.015	-2.0	385.2	±8.0	413.6	±12.6	576	± 12.9

\* Percentage of <sup>206</sup>Pb contributed by common Pb on the basis of <sup>204</sup>Pb. Value of common Pb was assumed by Stacey and Kramers (1975) model; n.d. : no detection of <sup>204</sup>Pb.

\*\* Degree of discordance (%); negative numbers and blanks show normal discordant and concordant within 2σ of the analytical error, respectively.



**Fig. 3.** Age distribution of Sadong Formation zircons. Only one age with lesser discordance per grain is included in this frequency diagram. Plots generated using ISOPLOT developed by Ludwig (2003).

구소에 있는 Thermo Elemental PlasmaQuad 3모델의 레이저용제 유도결합 플라즈마 질량분석기(Laser-ablation inductively-coupled plasma mass spectrometer; LA-ICP-MS)를 이용하여 분석하였다. 레이저용제 시스템은 New Wave UP213기종으로 Nd-YAG 213 nm의 파장을 이용하였다. LA-ICP-MS 분석은 Orihashi *et al.* (2008)에 기술된 분석조건에 따라 수행되었고, 분석된 자료는 ISOPLOT 프로그램(Ludwig, 2003)을 이용하여 처리하였다. 퇴적암에서 분리한 저어콘 시료는 다양한 지질연대를 가지는 입자들로 구성되어 있어 Pb 소실에 대한 시기를 정확히 알 수가 없기 때문에, 15% 이상의 불일치 또는 10% 이상의 역불일치를 보이는 연대는 이용하지 않았다(c.f., Gehrels *et al.*, 1995). 저어콘의 U-Pb연대가 1,000 Ma 이상인 경우는  $^{207}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}$  연대를, 1,000 Ma 이하인 경우는  $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$  연대를 이용하였다(c.f., Dickinson and Gehrels, 2008).

### 3. 사동층 저어콘의 U-Pb 연대

분리된 저어콘의 입자형태는 아원상-아각상의 외형을 보이며, 저어콘의 표면은 곰보형태로 미세하게 많이 깨여있는 것으로 관찰된다. 주사전자현미경의

음극선발광영상을 이용하여 저어콘의 내부구조를 관찰한 결과 대부분의 저어콘은 진동형(oscillatory), 또는 영역형(sector) 누대구조를 보이는 화성기원의 특징을 나타낸다(그림 2). 3개를 제외한 나머지 저어콘 입자들이 0.1보다 높은 Th/U 값을 보이는 것도 분석에 이용된 대부분의 저어콘 입자들이 화성기원(Vavra *et al.*, 1999; Hartman *et al.*, 2000)이라는 것을 지시한다(표 1).

96개의 저어콘 입자에 대해 총 130점의 LA-ICP-MS 분석을 실시하였으며, 분석결과는 표 1에 제시되어 있다. 분석결과 중에서 62개의 저어콘 입자에서 총 85점의 분석 연대가 이용 가능한 연대 범위 내에 포함되는 것으로 판명되었다. 저어콘의 U-Pb 연대는 297±6.0 Ma에서 2,554±32 Ma까지 광범위한 분포를 보인다. 저어콘의 U-Pb 연대는 1,875 Ma에서 가장 높은 피크를 나타내며, 이밖에 295, 345, 373, 976, 2,248 Ma와 2,492 Ma에서 작은 피크를 보인다(그림 3).

미국 콜로라도 고원의 중생대 퇴적물을 연구한 Dickinson and Gehrels (2009)는 가장 젊은 저어콘의 개별연대가 퇴적물의 퇴적시기를 잘 반영한다고 보고하였다. 사동층에서 산출하는 가장 젊은 저어콘의 생성연대는 297±6 Ma로서, 지질시대로는 Walker

and Geissman (2009)의 2009 GSA Geologic Time Scale에 의하면 폐름기 전기의 Asselian과 Sakmarian의 경계에 해당한다. 사동층에 들어있는 가장 젊은 저어콘의 U-Pb 연대로 미루어볼 때 사동층의 가장 오래된 퇴적시기는 전기 폐름기에 해당되는 것으로 추정할 수 있다. 이 연구결과는 사동층이 전기 폐름기 이후에 형성된 지층이라는 것을 지시한다. 사동층과 대비되는 삼척탄전의 장성층이 전기 폐름기의 Artinskian (284-276 Ma) 에 해당되는 것으로 알려져 있으므로(Cheong, 1976), 사동층과 장성층은 퇴적시기가 잘 일치하는 것으로 해석할 수 있다.

사동층에서 산출되는 저어콘의 연대 분포를 알아보기 위해 각 저어콘 입자의 U-Pb 연대 중 불일치도가 적은 연대를 이용하여 확률밀도분포(그림 3)로 나타내보면 현생이언의 저어콘은 전체 저어콘의 약 11%를 차지하며, 이들은 295 Ma, 345 Ma와 373 Ma에서 피크를 나타내는 것들로서 각각 전기 폐름기와 전기 석탄기에 해당한다. 전체 저어콘의 89%를 차지하는 것들은 976 Ma에서 피크를 나타내는 전기 신원생대 저어콘(~4%)을 제외하고는 모두가 1,875~2,492 Ma에서 피크를 보이는 전기 원생대의 저어콘들이다. 이중에서도 특히 1.88 Ga의 연대를 갖는 저어콘들이 가장 우세하다. 저어콘의 U-Pb 연대로 보아 사동층의 쇄설성 저어콘은 주로 1.8 Ga의 연대를 갖는 기원지에서 유래하였으며, 후기 고생대의 화성암으로부터 유래한 저어콘이 일부 포함된 것으로 해석된다.

삼척탄전 지역에서 측정된 평안누층군의 고수류 자료에 의하면 평안누층군의 퇴적물은 동쪽 또는 남동쪽으로부터 기원된 것으로 알려져 있으며(김항목, 1978), 정선 및 평창탄전 지역에서도 주로 동-북동쪽에서 퇴적물이 공급된 것으로 보고되었다(동아응용지질건설탄트, 1975; 박석환 외, 1981; 최강원, 1993). 이 결과는 삼척탄전과 영월탄전 지역의 평안누층군을 비교 검토한 Lee and Kim (1998)이 평안누층군의 퇴적시기에 바다는 서쪽에, 육지는 동-남동쪽에 위치한 것으로 해석한 결과와 일치한다. 정선탄전의 옥갑산층 사암조성을 연구한 최강원(1993)에 의하면 옥갑산층 퇴적물들은 recycled orogen으로부터 유래된 것으로 해석되었는데, 삼척탄전의 장성층의 연구결과(Lee and Sheen, 1998)와 비교하여 미루어볼 때 사동층의 사암 역시 recycled orogen으로부

터 유래하였을 것으로 판단된다. 이렇게 볼 때 사동층에서 산출되는 쇄설성 저어콘들은 전기 원생대의 연대를 갖는 암석으로 구성된 기원지, 아마도 영남 육괴로부터 유래된 퇴적물이 다시 용기한 후 재동되어 공급된 것으로 해석할 수 있다. 하지만 한반도 고생대의 조구조 역사에 대한 정확한 해석을 위해서는 향후 더 많은 추가 연구가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

## 사 사

이 연구는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 과제(PE09010) 및 동경대학교의 지진연구소와의 공동연구프로그램(cooperative research program of the Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)의 지원에 의해 수행되었다.

## 참고문헌

- 김항목, 1978, 후기 석탄기 테티스해내 한국 삼척탄전의 천해류 분석. 광산지질, 11, 21-38.
- 대한광업진흥공사, 2005, 정밀조사보고서 (석회석: 평창-노론지구). 59 p.
- 동아응용지질건설탄트, 1975, 정선탄전 정밀지질조사보고서와 지질도. 국립지질광물연구소, 54 p.
- 동아응용지질건설탄트, 1978, 평창탄전 정밀지질조사보고서와 지질도. 국립지질광물연구소, 32 p.
- 박석환, 임순복, 서해길, 1981, 석탄자원 조사보고서 (제3호), 정선탄전 (I) 구절-남평 지역. 한국동력자원연구소, 42 p.
- 정창희, 이돈영, 유양수, 강기우, 1979, 한국지질도 1: 50000 (평창 · 영월도폭). 자원개발연구소, 32 p.
- 최강원, 1993, 강원도 정선군 회동리-숙암리 일대에 분포한 평안누층군의 옥갑산층의 퇴적환경. 서울대학교 박사학위논문, 164 p.
- Cheong, C.H., 1976, Geologic structure of Samcheog coalfield. Republic of Korea, Natural Science Series, Journal of National Academy of Science, 15, 247- 277.
- Dickinson, W.R. and Gehrels, G.E., 2008, U-Pb ages of detrital zircons in relation to paleogeography: Triassic paleodrainage networks and sediment dispersal across southwest Laurentia. Journal of Sedimentary Research, 78, 745-764.
- Dickinson, W.R. and Gehrels, G.E., 2009, Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. Earth and Planetary Science Letters, 288, 115-125.

- Gehrels, G.E., Dickinson, W.R., Ross, G.M., Stewart, J.H. and Howell, D.G., 1995, Detrital zircon reference for Cambrian to Triassic miogeoclinal strata of western North America. *Geology*, 23, 831-834.
- Hartmann, L.A., Leite, J.A.D., Silva, L.C., Remus, M.V.D., McNaughton, N.J., Groves, D. I., Fletcher, I.R., Santos, J.O.S. and Vasconcellos, M.A.Z., 2000, Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences*, 47, 829-844.
- Lee, Y.I. and Kim, D.W., 1998, Provenance of late Paleozoic Pyeongan Supergroup sandstones in Yeongweol coalfield, Korea. *Geosciences Journal*, 2, 68-77.
- Lee, Y.I. and Sheen, D.H., 1998, Detrital modes of the Pyeongan Supergroup (Late Carboniferous-Early Triassic) sandstones in Samcheog coalfield, Korea: Implications for provenance and tectonic setting. *Sedimentary Geology*, 119, 219-238.
- Ludwig, K.R., 2003, User's Manual for Isoplot 3.00. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4, 71 p.
- Orihashi, Y., Nakai, S. and Hirata, T., 2008, U-Pb age determination for seven standard zircons using inductively coupled plasma-mass spectrometry coupled with frequency quintupled Nd-YAG ( $\lambda=213$  nm) laser ablation system: Comparison with LA-ICP-MS zircon analyses with a NIST glass reference material. *Resource Geology*, 58, 101-123.
- Stacey, J.S. and Kramers, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26, 207-221.
- Vavra, G., Schmid, R. and Gebauer, D., 1999, Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134, 380-404.
- Walker, J.D. and Geissman, J.W., 2009, 2009 GSA Geologic Time Scale. *GSA Today*, April/May 2009, 60-61.

---

투 고 일 : 2010년 1월 25일

심 사 일 : 2010년 1월 26일

심사완료일 : 2010년 2월 22일