

옥천지향사대 내 수안보-수산 지역에 분포하는 함력천매암질암 기질의 화학 조성과 탄산염암의 안정동위원소 연구

김규한* · 민경덕**

Geochemical and Stable Isotopic Studies of the Matrix of Pebble Bearing Phyllitic Rocks and Carbonate Rocks from the Suanbo and Susanri District in the Okchon Geosynclinal Zone

Kyu Han Kim* and Kyung Duck Min**

ABSTRACT : Stable isotopic ratios of the carbonate rocks and chemical compositions of the matrix of pebble bearing phyllitic rocks known as the Hwanggangri Formation, which are in hot debate on their origin such as tillite, debris flow and turbidite, were determined to interpret their depositional environment. Argillaceous matrix of the pebble bearing phyllitic rocks has a high content of CaO (av. 19.5%) and MgO (av. 8.3%), corresponding to calcareous sandy shale. No difference of chemical compositions including trace elements and REE is in the matrices between the Hwanggangri and the Kunjasan Formations. Carbonate rocks from the Okchon zone and outside of the zone range $-2.5\sim+6.1\%$ in $\delta^{13}\text{C}$ and $+5.8\sim+25.9\%$ in $\delta^{18}\text{O}$, indicating normal marine limestone. However, unusually ^{13}C enriched carbonate rocks might be deposited in the highly evaporated sedimentary basin. A wide variation of $\delta^{18}\text{O}$ values is responsible for metamorphism with a ^{16}O depleted meteoric water. Isotopic equilibrium temperatures by graphite-calcite geothermometer show a higher metamorphic temperature ($547\sim589^\circ\text{C}$) in the Okchon zone than those ($265\sim292^\circ\text{C}$) in the Samtaesan Formation of the Chosun group. Rhythmic alternation of relatively thin shale with thin limestone in the Kounri Formation is not cherty layer but thin limesilicate bed by metasomatic replacement. Judging from the isotopic and chemical compositions of the carbonate rocks and calcareous matrix of the pebble bearing phyllitic rocks, the Hwangganari Formation was deposited in the shallow marine environment favorable to debris flow.

서 언

옥천 지향사대 내에 분포하는 함력질암의 지층은 황강리층과 북노리층 (이민성, 박봉순, 1965)으로 함력천매암질암 (pebble bearing phyllitic rock)으로 대표된다. 옥천대 내에 분포하는 탄산염암은 제천 남부-청풍-봉화제-월악산을 경계로 동쪽에는 조선계 삼태산층이, 서쪽

에는 옥천계 고운리층의 석회암이 분포하고 있다 (Fig. 1). 상기의 지층들의 층서를 포함한 옥천계와 조선누층군의 층서와 지질 시대에 관하여는 김옥준 (1968, 1970, 1971), 이대성외 (1971, 1974, 1978), 손치무 (1970, 1971), 이종혁 (1995), 장태우, 이병주 (1995) 등에 의해 많은 연구가 수행되어 왔음에도 불구하고 미해결의 문제로 남아 있다. 함력질암으로 구성된 지층인 황강리층과 북노리층에 대하여 기질의 특성에 따라 흑회색 기질의 암석과 백색의 규화된 황강리층으로 구분하기도 하고 (이대성, 1974), 김옥준 (1969), 김옥준, 윤정수 (1980)는 흑색기질의 함력질암은 황강리층, 백색 함력질

* 이화여자대학교 과학교육과 (Dept. of Science Education, Ewha Womans Univ., Seoul 120-750, Korea)

** 연세대학교 지질학과 (Dept. of Geology, Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea)

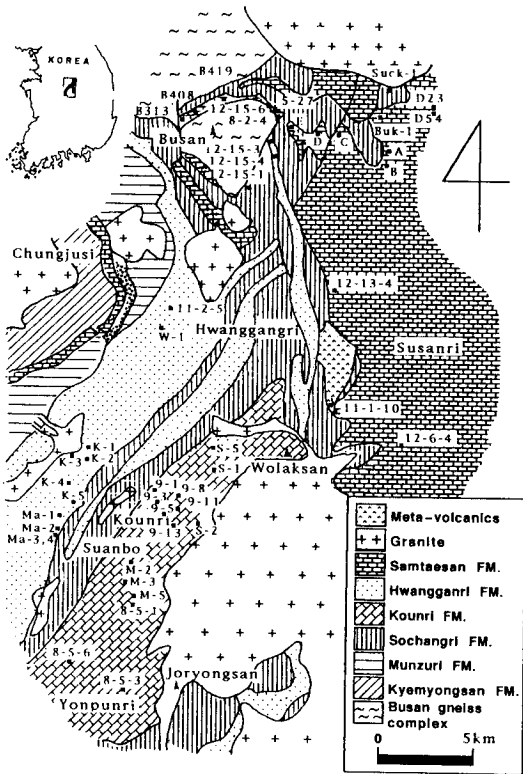


Fig. 1. Geologic and sampling map in the Okchon geosynclinal zone.



Photo 1. Dark grey pebble bearing phyllitic rock of the Hwanggagri Formation in the Madangbaeyi.

의하여 옥천대 황강리층 및 북노리층은 다량의 5각형 역들의 특징에 의해 틸라이트의 가능성을 보고하였고 고운리층의 탄산염암층은 터어비다이트층으로 해석하였다. 본 연구에서는 함력질암 (황강리층, 군자산층)의 기질과 고운리층의 석회규산염암에 대하여 주성분, 미량 성분, REE 등 분석과 탄산염암의 탄소 및 산소 안정동위원소비 분석으로 이들 변성퇴적암들의 퇴적 환경과 변성 온도를 해석하였다. 그리고 처트로 오인된 석회규산염암과 고운리층의 석회암과 세일 호층암에 대하여 석회규산염화 과정을 검토하였다.

분석 방법

함력천매질암 기질의 화학 분석을 위하여 역이 포함되어 있지 않은 부분의 14개 기질 시료를 준비하였다. 분말화된 기질의 일부 시료는 ICP 분석법으로 분석하고, 일부 시료는 X-선 형광 분석법 (XRF)을 이용하여 분석하였다. ICP분석은 영국 London대학에서 실시하였고 XRF분석은 일본 東北大學에서 실시하였다. 탄산염암의 탄소 및 산소 안정 동위 원소비 분석에서 CO₂추출을 위하여 100% 인산을 사용하였으며 석회암 내에 포함된 순수한 흑연을 얻기 위해 2 : 1 v/v Bengene-methanol; 1 N HCl, 5 : 1 v/v HF-HCl의 처리를 하였다. 동위 원소 분석은 일본 나고야 대학 지구행성과화학과에서 실시하였으며 분석 결과는 보통 표시 방법인 δ¹³C, δ¹⁸O의 천분율로 표시하였다. 표준 시료는 탄소는 PDB, 산소는 SMOW이다. 함력질천매암의 기질 분석에서 ICP법을 이용한 분석시 작열감량 (Ign. loss)을 정량하지 않았으므로 SiO₂ 함량만은 작열감량값이 포함된 값으로 절대 함량값은 다소 변화가 예상된다.

암은 군자산층으로 구분한 바 있다. 또한 함력질암의 암석 성인을 Kim (1971)은 처음으로 해석 빙하 퇴적암인 틸라이트 (tillite)로 추정하였으며 그 후 Reedman and Fletcher (1976)에 의해 틸라이트 (tillite)로 해석되었다. 한편 이들 암석 성인을 이대성 (1974)은 터어비다이트 (turbidite)로 Chough (1981)과 Park (1990)은 debris flow로 해석하였다. Nakazawa와 (1981)에 의해서도 황강리층은 debris flow 퇴적 기원으로olistostrome 특징을 가지는 것으로 보고하였다. 황강리층의 지질 시대에 대하여서는 섀캄브리아가 (김옥준, 1968, 1971), 고생대 이후 (손치무, 1970; 이종혁, 1995), 황강리층 중의 석회암역에서 발견된 코노돈트 화석에 대해서 초기 오르도비스기 이후 (Lee et al, 1989) 등으로 각각 해석되었다. 한편 옥천층군 중의 탄산염암의 층서와 지질 시대에 대하여서는 고운리층과 삼태산층을 조선계 지층 (이민성, 박봉순, 1965; 손치무, 1970; 이종혁, 1995)으로 조사하였고, 김옥준 (1968)은 고운리층을 섀캄브리아가의 옥천계 지층으로, 삼태산층을 조선계 지층으로 층서를 설정하였다. 최근 이민성 외 (1995)에



Photo 1. Dark grey pebble bearing phyllitic rock of the Hwanggangri Formation in the Madangbaeyi.

Table 1. Chemical compositions of the matrix of pebble bearing phyllitic rocks known as the Hwanggangri and Kunjasan Formations in the Okchon geosynclinal zone (Analyzed by ICP method).

Sample No.	Description	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Ing. loss	Total	Remark
W-1	Pebble bearing black calcareous phyllitic rocks from	59.98	5.58	2.87	9.72	19.75	0.44	1.74	0.16	0.09	0.07		100.0	H
K-1	the Hwanggangri black phyllitic rocks from the Muduri	59.18	7.18	3.32	6.94	20.19	0.64	2.06	0.33	0.09	0.07		100.0	H
K-2	Pebble bearing dark greyphyllitic	58.46	7.42	3.63	7.07	20.19	0.60	2.15	0.31	0.09	0.08		100.0	H
K-3	Pebble bearing black phyllitic rock from the Muduri	59.78	8.03	3.86	6.61	18.29	0.59	2.30	0.35	0.12	0.07		100.0	H
K-4	Dark grey pebble bearing phyllitic rock from the Madangbaeyi	53.22	7.38	3.36	9.49	22.40	0.90	2.72	0.35	0.09	0/09		100.0	H
K-5	Grey pebble bearing phyllitic rock from the Madangbaeyi	53.79	7.53	3.39	9.01	21.54	0.81	3.38	0.36	0.11	0.08		100.0	H
SK-1	Dark grey elongate pebble bearing phyllitic rock from the Jangapri, sokrisan	53.97	7.41	3.73	9.50	21.82	0.84	2.21	0.35	0.09	0.08		100.0	H
11-2-5	Pebble bearing light grey phyllitic rock from the Hwanggangri	47.50	8.00	3.28	10.97	17.75	0.82	2.64	0.34	0.08	0.09	8.53	99.52	H
Ma-1	Pebble bearing white phyllitic rock from the Madangbeyi	55.95	9.46	3.70	6.90	21.48	0.40	1.57	0.38	0.09	0.07		100.0	K
Ma-2	Pebble bearing milky white phyllitic rock from the Madangbaeyi	51.53	10.48	4.04	7.23	25.74	0.13	0.40	0.38	0.07	0.08		100.0	K
Ma-3	Pebble bearing milky white phyllitic rock from the Madangbaeyi	56.78	8.63	3.77	7.40	18.17	0.96	3.78	0.32	0.12	0.07		100.0	K
Ma-4	Pebble bearing milky white phyllitic rock from the Madangbaeyi	58.86	8.00	4.13	7.61	14.94	1.16	4.67	0.40	0.15	0.08		100.0	K
S-7	Pebble bearing grey colored phyllitic rock from the Ssangokri	64.20	9.90	4.11	5.98	11.66	1.16	2.21	0.53	0.17	0.08		100.0	K
12-4-5	Pebble bearing limesilicate rock from the Kunjasan	54.57	6.84	3.04	11.29	18.69	0.32	3.41	0.39	0.09	0.10	1.32	100.06	K
Average		56.27	7.55	3.59	8.27	19.47	0.70	2.52	0.35	0.10	0.08			

H: Hwanggangri Formation, K: Kunjasan Formation, Sample (12-14-5 and 11-2-5) analyzed by XRF method. SiO₂ contents of the matrix except two samples (12-14-5 and 11-2-5) are calculated by total percent (100%).

분석 결과

함력질암 기질의 화학 성분

황강리층과 군자산층 중의 함력질암의 역은 장경이 수 cm에서 20 cm에 이르는 다양한 크기에 원마도가 낮은 특징을 가지는 화강편마암, 규암, 천매암, 석회암, 셰일, 화강암역 등으로 구성되어 있으며, 석회암역은 변형되어 대부분의 역이 elongate되어 있다 (사진 1). 함력질암의 기질은 백색 내지 회색과 흑색 내지 흑회색을 나타낸다. 기질에 대해 Park (1990)은 암상에 의해 sillicic clastic 또는 calcareous matrix로 구분하였다. 그러나 기질의 화학 분석 자료는 보고된 바 없다. 함력질암 기질의 전암의 화학 분석 결과는 Table 1과 같다. 함력천매암질암 기질의 평균 화학 성분은 CaO 19.5%, MgO 8.3%, Al₂O₃ 7.6%, SiO₂ 56.3%, 전체 FeO 3.6%이다. 황강리층의 기질의 SiO₂ 47.50~59.98%, Al₂O₃ 5.58~8.03%, Fe₂O₃ 2.87~3.86%, CaO 17.75~22.54%, MgO 6.61~10.97% 등이다. 그리고 군자산층의 기질은 SiO₂ 53.97~64.2%, Al₂O₃ 6.84~10.48%, Fe₂O₃ 3.04~4.13%, CaO 11.66~25.74%, MgO 5.98~11.29% 등이다. 함력질암의 기질에서 특징적으로 CaO의 함량이 황강리층 (평균 20.2%)과 군자산층 (평균 18.5%)에서 모두 높으며 MgO도 황강리층의 기질 6.6~11.0% (평균 8.7%), 군자산층 기질 6.0~11.3% (평균 7.7%)로 석회질 기질 (calcareous matrix)로 되어 있다.

미국 미시건의 선크브리아기 Fern Creek 킬라이트의 주요 화학 성분은 SiO₂ 64.59%, Al₂O₃ 14.66%, Fe₂O₃ 5.91%, CaO 0.46%, MgO 3.83%이다 (Pettijon, 1975). 또한 브라질의 Barra Bonita 킬라이트와 Hutonian의 Cobalt 킬라이트도 각각 SiO₂ 59.32%, 61.98%, Al₂O₃

12.34%, 17.20%, CaO 5.20%, 1.00%, MgO 4.01%, 3.27% (Pettijon, 1975)로서 CaO와 MgO 함량이 황강리 지역의 함력질암의 화학 성분과 현저히 다르다. Al₂O₃ 함량은 보통의 셰일이나 이질암 (mud rock)에서 보다 낮다. 이처럼 황강리층의 함력질암의 기질은 석회질사질셰일 (calcareous sandy shale)로 대표된다. 점토질의 대표적인 성분인 Al₂O₃ + Fe₂O₃ 와 CaO, MgO, SiO₂ 성분에 대한 삼각 다이어그램 도에서 황강리층의 기질과 군자산층의 기질은 대단히 유사하게 나타났다. 그러나 석회규산염암은 교대 작용에 의해 Al₂O₃ + Fe₂O₃ 와 SiO₂ 성분 변화가 나타나고 있다 (Fig. 2). 옥천대의 화전리층과 내사리

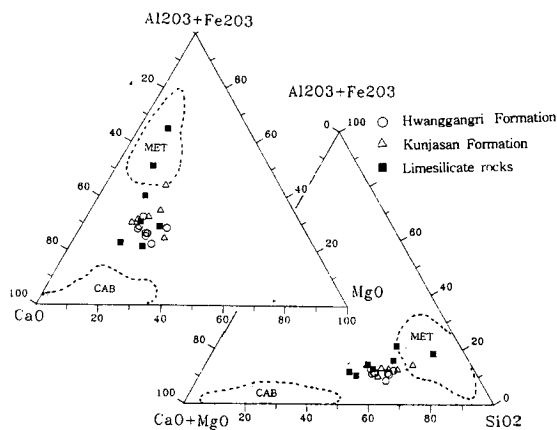


Fig. 2. Triangular plot of Al₂O₃ + Fe₂O₃ - CaO - MgO and Al₂O₃ + Fe₂O₃ - CaO + MgO - SiO₂ for the matrix of calcareous pebble bearing phyllitic rock of the Hwanggangri Formation. Dotted area (CAB) indicates the chemical data of the carbonate rocks from the Naesari limestone Formation and Hwajeonri limestone in the Okchon zone. Dashed area (MET) shows their metasomatized samples (Lee, 1995).

Table 2. Trace element of the matrix of the pebble bearing phyllitic rocks from the Hwanggangri and Kunjasan Formations.

Sample No.	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Nb	Ni	Sc	Sr	V	Y	Zn	Remark
W-1	1243	12	43	24	24	1	18	6	121	79	15	52	H
K-1	486	13	65	20	20	5	19	7	147	75	23	83	H
K-2	584	18	71	25	25	5	29	8	149	70	25	72	H
K-3	567	15	71	38	38	5	31	8	143	72	24	52	H
K-4	655	15	83	19	19	7	26	8	171	68	23	72	H
K-5	753	14	83	27	27	7	27	8	151	78	24	51	H
Ma-1	385	15	99	17	17	5	25	8	55	84	25	55	H
Ma-2	101	15	217	16	16	5	25	9	31	87	27	64	K
Ma-3	788	15	95	17	17	4	25	8	361	83	25	72	K
Ma-4	1135	16	68	17	17	7	28	9	215	87	29	55	K
S-7	669	12	95	13	13	15	26	9	118	71	31	36	K
SK-1	644	18	85	59	59	6	33	8	151	88	24	73	H

Table 3. REE of the matrix of the pebble bearing phyllitic rocks from the Hwanggangri and Kunjasan Formations.

Sample	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Dy	Yb
W-1	9	31	11	3.1	0.4	1.8	1.0
K-1	12	39	15	3.8	0.5	2.8	1.5
K-2	14	43	18	4.2	0.6	3.1	1.8
K-3	15	39	17	3.8	0.5	3.0	1.8
K-4	10	38	15	3.8	0.5	3.0	1.6
K-5	10	35	15	3.8	0.5	3.0	1.6
Ma-1	13	41	18	4.2	0.5	3.1	1.7
Ma-2	8	42	15	4.5	0.5	3.2	1.8
Ma-3	19	47	21	4.6	0.6	3.2	1.8
Ma-4	27	55	25	5.4	0.7	3.7	2.1
S-7	33	61	28	5.9	0.8	4.0	2.1
SK-1	12	41	17	4.2	0.6	3.0	1.6

층의 석회암보다는 $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 와 SiO_2 함량이 높게 나타나며 교대 작용을 받은 상기 지층들의 석회암 시료에서 보다는 SiO_2 나 $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 함량이 낮은 경향이 있다.

이같은 기질의 calcareous한 특징은 (1) 고운리층의 석회암과 유사한 탄산염암의 퇴적 환경에서 후기의 $CaCO_3$ 가 포화된 해수에서 직접 퇴적되었거나 (2) 주위의 탄산염암으로 구성된 퇴적 분지의 영향으로 퇴적물 내의 CaO의 함량이 유입되어 CaO함량이 높은 천해에서 퇴적된 것으로 해석될 수 있다.

미량 성분과 REE 분석 결과는 Table 2, 3과 같다. 미량 성분 중 Ba는 황강리층 함력질암의 기질이 480~1243 ppm (평균 664.6 ppm), 군자산층 101~1135 ppm (평균 673.3 ppm), Sr은 황강리층의 기질 121~151 ppm (평균 136.0 ppm), 군자산층의 기질 31~361 ppm (평균 181.3 ppm)이다. 기타 미량 성분의 함량도 대단히 균일하며 황강리층과 군자산층의 기질 사이의 미량 성분 함량이 유사하다. 그리고 이들 간에 REE의 함량도 대단히 유사하며 균질한 화학 조성을 나타내고 있다. 황강리층과 군자산층의 기질은 다같이 석회질-사질 세일로 천해성 퇴적 환경의 특징을 나타내고 있다.

황강리층의 기질은 군자산층의 기질에 비해 현미경하에서 탄질물의 함량이 높다. 작열감량 (Ign. loss) 분석값에서도 황강리층 기질 (시료 11-2-5)에서 8.53%, 군자산층 기질 (시료 12-4-5)에서 1.32%이 얻어졌으며 암색은 주로 탄질물의 함량에 기인하는 것으로 추정된다. 즉, 황강리층의 기질의 흑색 내지 회색은 미세 탄질물 함량 때문이며 군자산층의 회백색 내지 백회색의 특징은 탄질물 함량이 낮기 때문으로 해석된다. 이같은 천해성 퇴적의 특징은 황강리층의 함력천매암질암이 틸라이트보다는 debris flow일 가능성을 강하게 암시하고 있다.

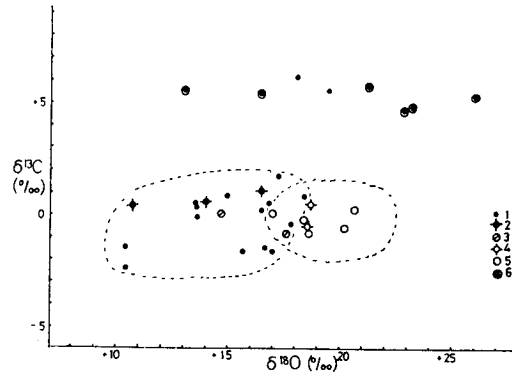


Fig. 3. Distribution of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ values for carbonate rocks from the Okchon geosynclinal zone. 1. Kounri Formation, 2. Samtaesan Formation in the Dangdusan, 3. Kounri Formation in the Yonpungri, 4. Samtaesan Formation in the Busan area, 5. Samtaesan Formation in the Susanri, 6. Limestone in Suchangri Formation in the Busan area.

탄산염암의 탄소 및 산소 안정동위원소비

옥천대 내의 송계리 부근의 고운리층, 수산리 부근의 대석회암통의 삼태산층, 체천 남부 부산 지역의 서창리층 내에 협재된 석회암 등에 대하여 탄소 및 산소 안정 동위원소 분석을 실시하였다. 분석 결과는 Table 4와 같다. 대체로 $\delta^{13}C = -2.5 \sim +1.7\%$ 내외이며 $\delta^{18}O = 10.5 \sim 25.9\%$ 로 전형적인 해성 석회암의 값의 범위를 가진다. 그러나 고운리층 (시료9-8), 용암 지역 석회암과 부산 지역 서창리층 중의 석회암은 $\delta^{13}C$ 값이 +5% 내외로 이상적으로 ^{13}C 이 부화된 특징을 나타내고 있다. 이는 이들 퇴적암류가 퇴적될 시 퇴적 분지에 강한 증발 현상이 수반된 것으로 추정된다. 그 외 지역의 석회암의 탄소 동위 원소비 ($\delta^{13}C$)는 대체로 0% 전후로 비교적 유사한 값을 가진다. 그러나 산소 동위원소값 ($\delta^{18}O$)은 +5.8%에서 +25.9%까지 대단히 넓은 범위를 나타낸다. 이는 변성 작용시에 ^{18}O 이 결핍된 순환수에 의한 산소 편이 (oxygen shift) 결과로 해석된다 (Fig. 3). 대석회암층군의 삼태산층의 석회암보다 고운리층 석회암이 ^{18}O 이 결핍되어 있으며 이는 변성도의 증가 때문으로 해석된다. 이는 김규한 (1985)에 의해 보고된 옥천계 마전리층과 삼태산층의 동위원소 연구에서 얻은 결과와도 일치한다. 황강리층 중의 석회암역의 동위 원소 연구에서 석회암역이 삼태산 석회암일 가능성을 제시하였다 (김규한, 1985). 석회암 중의 방해석-흑연 공존 광물 쌍의 동위 원소 지질 온도계 (Morikiyo, 1984)에 의해 계산된 변성 온도는 수산 지역 대석회암층

Table 4. Carbon and oxygen isotopic compositions of the carbonate rock in the Okchon geosynclinal zone.

Sample No.	Description	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\Delta_{\text{cc-gr}}$	Tem (°C)
Kounri Formation in the Kounri area					
8-5-1	Dark grey layered limestone from the Sojoryong	+0.1(-4.8)	+16.5	4.9	589
8-5-3	White crystalline limestone from the Yonpungri	0.0	+14.7		
L5	Dark grey limestone from the Sojoryong	+0.8(-3.8)	+13.6	4.6	599
8-5-6	Dark grey limestone from the Yuhari	-0.9	+17.6		
M-2	Dark grey limestone with slate from the Sojoryong	-0.7	+15.7		
M-3	White crystalline limestone from the sojoryong	+0.8	+15.0		
9-1	Dark grey crystalline limestone from the Sojoryong	-0.5	+17.9		
9-3	Layered limeston from the Kounri	-2.5	+10.5		
9-5	Dark grey crystalline limestone from the Kounri	+0.3(-5.9)	+13.6	6.2	547
9-8	Light grey crystalline limestone from the Kounri	+6.0	+17.9		
9-11	White crystalline limestone from the Kounri	+1.7	+17.3		
9-13	Light grey crystalline limestone from the Kounri	-1.5	+10.5		
S-1	Layered limestone alternated with limesilicate from the Songkyeri	-1.7	+17.0		
S-5	Grey crystalline limestone from the Songkyeri	-1.6	+16.7		
S-2	White crystalline limestone from the Kounri	+0.4	+13.6		
Suchangri Formation in the Busan area					
8-2-4	Light grey crystalline limestone from the Saori	+5.4	+16.4		
B 408	Grey crystalline limestone from the Bangdaeri	-0.6	+18.6		
B 313	Grey crystalline from the Jungamri	+0.8	+18.4		
B 419	White crystalline limestone from the Wolryongri	+0.5	+18.7		
E	Dark grey crystalline limestone from the Saori	+4.8(-18.5)	+23.2	23.3	268
5-17	Grey crystalline limestone from the Busanri	+4.8	+18.4		
12-15-1	Grey crystalline limestone from the Osanri	+5.7	+21.2		
12-15-3	Layered limestone from the Dandonri	+5.5	+13.0		
12-15-4	Light grey crystalline limestone from the Dandonri	+3.5	+5.8		
12-15-6	Ditto	+4.6	+22.8		
Samtaesan Formation in the Susanri area					
A	Dark grey limestone from the Songnaeri	+0.2	+20.6		
B	Ditto	-0.9(-21.7)	+18.6	20.7	292
D	Light grey noncrystalline limestone from the Husanri	+5.3	+25.6		
Buk-1	Light grey crystalline limestone from the Bupkae	-0.2	+18.4		
11-1-10	Light grey crystalline limestone from the Yongbawi	+6.1	+15.3		
C	Grey crystalline limestone from the Hwangasukri	0.0	+17.0		
12-6-4	Layered crystalline limestone from the Wolakri	+5.5	+19.4		
12-13-4	Light grey noncrystalline limestone from the Ko-myongri	-0.7(-24.3)	+20.2	23.7	265
Suck-1	myongri	+1.0	+16.5		
D-23	Crystalline limestone from the Suckdonggol	+0.5	+14.0		
D-24	Limestone from the Dangdusan	+0.3	+10.7		

Numeral in parentheses is the $\delta^{13}\text{C}$ value graphite.

군의 석회암에서 265~292°C, 부산 지역 서창리층 중의 석회암에서 268°C, 고운리 지역 고운리층의 석회암에서 547~589°C가 각각 얻어졌다 (Table 4). 오창환 외 (1993)에 의해 문경 지역 접촉 변성대에서 근청석(cordierite)대의 변성온도가 480~580°C로 보고되었고, 수안보 부근에서도 근청석, 백운모, 하이퍼신 광물 조합이 연구되어 (노진환, 1995) 이 지역 접촉 변성온도를 잘 반영하여 주고 있다. 옥천계 지층이 조선계 지층보다 변성

온도가 높게 나타나 변성도에 의해 구분한 옥천 고지향사대와 옥천 신지향사대의 구분과도 조화적이다. 대전 남부 추부 터널 지역, 목소 지역의 창리층 지층 중의 결정질 석회암에서 369~434°C (나기창 외, 1988), 덕평 지역 가목정 지역의 대리암의 변성온도 384~433°C가 얻어지고 마전리 지역 화강암 접촉부 부근에서는 730°C의 높은 온도가 얻어졌다 (김규한, 1986). 고운리층 중의 500°C 이상의 고온은 월악산 화강암체의 관입 접촉 변성 작용의 영

향으로 해석된다.

처트층으로 오인된 석회규산염암의 호층

월악산 서쪽에 북동-남서 방향으로 분포하는 고운리층과 석회규산염암 지층은 암상이 대단히 유사한 동일 지층이다. 이 지층은 석회질 우세 박층과 흑색세일질 우세 박층이 호층을 이루고 있다. 이들 박층의 두께는 수mm에서 수

십cm에 이른다 (사진 2, 3). 이대성과 강준남 (1978)에 의하면 고운리층의 처트질대가 월악산 화강암 접촉으로 석회규산염암이 형성되었으며 처트질 석회암의 반응이 크게 기여한 것으로 해석하였다. 노진환 (1995)에 의하여 월악산 화강암체 주위의 접촉 변성 작용의 변성 광물 분대 연구가 수행되어 월악산 화강암체에 의한 주변 퇴적암류의 접촉교대변성작용이 재확인되었다. Nozawa *et al.* (1987)는 문경 세계 부근의 마전리층 (고운리층)의 호층대를 석회암과 처트의 호층대로 보고하였다. 한편 최근 이민성의 (1995)에 의해 고운리층의 호상 구조로 특정지워지는 고운리층을 퇴



Photo. 2. Rhythmic layers of thin black shale with thin limesilicate in the Sojoryong area. Boundin structured layer is limesilicate rock.

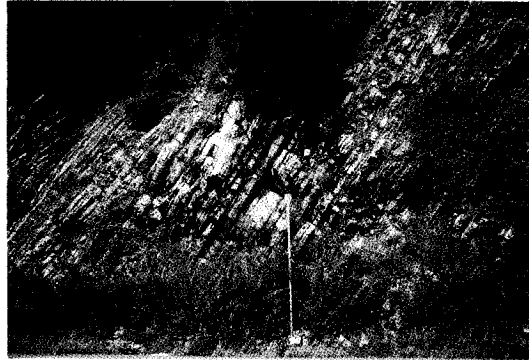


Photo. 3. Limesilicate rocks show thin bedded layers in the Sojoryong area.

Table 5. Chemical compositions of limesilicate rocks from the Kounri and Sojoryong area (Analyzed by XRF method).

Sample No.	Description	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Ign. loss	Total
M-7	Limesilicate rock from the Sojoryong	40.70	7.47	2.65	6.90	27.29	0.20	2.64	0.27	0.08	0.04	11.76	100.0
11-1-6	Limesilicate rock from the Songgeri (Korsansa)	53.43	7.89	10.84	20.25	1.44	0.05	0.39	0.10	0.46	0.42	nd	95.27
9-1	Limesilicate rock from the Kounri	49.88	6.25	4.08	11.19	26.27	0.11	0.19	0.27	1.03	0.06	0.22	99.55
12-7-3	Limesilicate rock from the Songgeri (Kosansa)	65.92	12.70	4.27	2.35	6.82	1.08	2.93	0.54	0.08	3.23	nd	99.92
S-5	Limesilicate rock from the Songgeri	50.20	10.29	3.55	8.19	23.29	1.03	0.61	0.47	1.81	0.65	0.51	100.6
M-5	Limesilicate rock from the Songgeri	55.01	14.45	5.49	4.48	14.60	1.19	2.68	0.59	0.07	0.09	1.35	100.0
11-2-3	Limesilicate rock from the Wolakri (near Wolak mine)	57.48	10.39	4.92	5.60	17.32	0.11	2.94	0.55	0.11	0.12	0.46	100.0
Average		53.23	9.92	4.24	7.08	19.47	0.74	1.72	0.44	0.47	0.13	0.34	

nd : not determined.

의해 고운리층의 호상 구조로 특징지워지는 고운리층을 되



Photo. 2. Rhythmic layers of thin black shale with thin limesilicate in the Sojoryong area. Boundin structured layer is limesilicate rock.

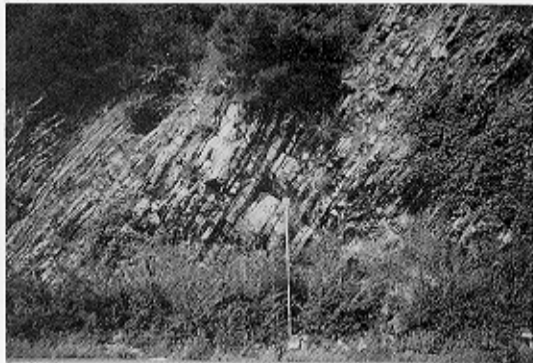


Photo. 3. Limesilicate rocks show thin bedded layers in the Sojoryong area.

적 구조의 특징에 의해 탄산염 저탁류에 의해 형성된 터어비다이트로 해석하였다. 고운리층의 석회질 우세 퇴적박층 및 세일질 우세 퇴적박층의 호층 암석은 천해성 석회질-세일질 호층 석회암으로 흑색 세일질 우세 박층이 접촉 교대 변성 작용을 받거나 또는 광역 변성 작용시에 구조 운동에 의해 세일질박층 내에 발달한 파쇄된 미세 구조를 따라 우선적으로 석회규산염 광물이 교대되어 형성된 석회규산염 암 박층이다. 세일과 호층을 이루는 탄산염암은 고운리 지역에서 창리 지역까지 광범위하게 분포하고 있다. 그러나 지역에 따라 흑색세일 박층이 보존되는 지역과 특히 화강암체 접촉부 부근에서는 흑색 세일박층대가 석회규산염 박층대로 대부분 교대되어 있다. 소조령과 문경새재 부근 및 고운리 지역 부근에서 흑색 세일 박층이 석회규산염 암 박층으로 교대되는 과정을 잘 보여주고 있다. 교대가 진행되는 중간 단계의 암상과 교대된 지층의 호층이 잘 관찰되고 있다. 흑색 세일 박층도 calcareous한 물질을 다소 함유하고 있으며 변형시에 형성된 사교하거나 수직적인 파쇄 구조인 미세 구조가 무수히 발달하고 있다. 이 미세 파쇄 구조대 내에 석회질 물질과 이들 세일질 물질 사이의 교대 작용에 의해 투회석, 규회석 등의 석회 규산염 광물이 다량 형성되고 있다. 이러한 미세 교대 구조가 야외에서 마치 퇴적 구조로 오인될 수 있다. 교대 작용시 화강암체에서 물질의 공급보다는 퇴적암 호층 자체 내에서 물질의 이동 교대가 일어난 것으로 추정된다. 고운리층 중의 석회규산염암의 전암의 화학 분석 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서와 같이 SiO_2 40.70~65.92%, Al_2O_3 6.25~12.70%, CaO 14.60~27.29% (시료 12-7-3 제외), MgO 4.48~11.19%로 CaO 의 함량이 높은 특징을 나타내고 있다. 석회 규산염암의 화학 성분은 황강리층과 군자산층의 함력질암의 기질의 화학 성분과도 대단히 유사하다. 많은 시료에서 SiO_2 의 함량이 유사한 사실에서 교대시의 SiO_2 공급이 외부 화강암체에서 유입된 것이 아니고 자체 내에서 공급 교대 작용이 일어난 것으로 해석된다. 석회 규산염암의 전암의 화학 성분과 황강리층의 기질의 전암의 화학 성분의 유사성에서 이들 사이에 퇴적 환경이 큰 변화가 없었음을 시준하고 있다.

결 론

1. 황강리층과 군자산층의 함력천매암질암 기질의 화학 성분은 CaO 평균 19.5%, MgO 평균 8.3%와 SiO_2 평균 56.3%인 석회질-사질 세일로 천해성 퇴적 환경의 특징을 나타내고 있다. 따라서 함력천매암질암으로 된 황강리층은 테라이트 보다는 debris flow일 가능성이 크다. 그리고 미

량 원소나 REE가 대단히 균질인 화학 조성을 나타내고 있어 육성 쇄설성 퇴적물의 유입이 적은 환경으로 추정된다. 황강리층과 군자산층의 암석은 차이가 있어도 기질의 화학 성분은 유사하여 유사한 퇴적 환경의 산물로 해석된다.

2. 탄산염암의 탄소 및 산소 안정동위원소비는 해성 석회암의 특징을 나타낸다. 탄산염암의 산소 동위 원소비는 5.8%~25.9%로 변화폭이 크다. 이는 변성 작용에 ^{18}O 결여된 순환수의 기여에 기인하는 것으로 해석된다. 그리고 이상적으로 ^{13}C 이 부화된 탄소 동위 원소값을 가지는 탄산염암은 증발 작용이 심한 퇴적 환경에서 침전된 것으로 추정된다.

3. 흑연-방해석 동위원소 지질 온도계에서 얻어진 변성 온도는 수산 지역 조선 누층군의 삼태산층 석회암 265~292°C, 부산 지역 서창리층 대리암 268°C, 그리고 옥천대의 고운리 지역 석회암에서 547~589°C가 얻어져 옥천 누층군의 변성 온도가 조선 누층군의 삼태산층의 변성 온도보다 높음을 나타내고 있다.

4. 고운리층의 석회질 우세 박층과 흑색세일 박층의 호층 지층 중 흑색세일 박층은 처트층이 아니고 구조 변형과 수반되어 접촉 교대 작용에 의해 형성된 투회석, 규회석을 주로하는 석회규산염암 박층이다.

사 사

이 연구는 교육부 기초 과학 연구소 학술 연구 조성비 (과제 번호 BSRI-95-2427)와 한국 과학 재단의 86차관 연구비의 지원에 의하여 연구되었다. 분석을 지원해 준 일본 나고야 대학, 도후쿠 대학과 전략 광물 자원 연구소에 사의를 표한다. 원고 정리에 협력하여 준 이화여자대학교 교육대학원 서혜영, 이화정 양에게 감사한다.

참고문헌

- 김규한 (1985) 남한의 일부 석회암의 탄소 및 산소 안정 동위원소비. 이화여자대학교 한국 생활 과학연구원 논총, 제 35집, p. 133-142.
- 김규한 (1986) 옥천 변성대 내에 분포하는 우라늄 광상의 동위원소 지구화학적 연구. 광산 지질, 19권 특, p. 163-173.
- 김옥준, 윤정수 (1980) 상부 옥천층의 암석학적 및 지구조적 해석에 관한 연구. 광산 지질, 13권 2호, p. 91-103.
- 김옥준 (1968) 충주 문경간의 옥천계 층서와 구조. 광산 지질, 1권 1호, p. 25-56.
- 김옥준 (1970) 옥천층군의 지질 시대에 관하여'에 대한 회답. 광산 지질, 3권 3호, p. 187-191.
- 나기창, 이동진, 김규한, 김정택 (1988) 옥천층군 변성이질암 내에 보존된 탄질물의 흑연화 작용 및 안정 동위 원소비에 관한 연구. 지질학회지, 24권 특, p. 199-212.

- 노진환 (1995) 수안보 지역 옥천 누층군의 변성 이질암류의 접촉 변성 분대와 반 점상근정석의 생성. 지질학회지, 31권 4호, p. 328-342.
- 손치무 (1970) 옥천층군의 지질 시대에 관하여. 광산 지질, 3권 1호, p. 9-16.
- 손치무 (1971) 옥천층군의 지질 시대에 관한 토론. 광산 지질, 3권 4호, p. 231-244.
- 오창환, 김성원, 김종섭 (1993) 문경 지역에 분포하는 변성 염기성암과 변성 퇴적암에 대한 백악기 화강암의 열변성 작용. 암석학회지, 2권, p. 74-94.
- 이대성, 강준남 (1978) 월악산 화강암의 접촉 변성에 관하여. 광산 지질, 11권 4호, p. 169-182.
- 이대성 (1974) 옥천계 지질 시대 결정을 위한 연구. 연세 논총, 제 11집, p. 299-323.
- 이민성, 박봉순 (1965) 황강리 지질도폭 설명서. 국립지질조사소.
- 이민성, R. Matsumoto, S. Yoshida, H. Shimazaki, 이종익 (1995) 옥천대 고운리층 중의 탄산염 터어비다이트층. 대한 지질학회 학술 발표 요약집, p. 42-43.
- 이민성, Shizuo, Y., 이종익 (1965) 틸라이트 기원암으로 추정되는 옥천대 황강리 층 및 북노리층. 대한 지질학회 학술 발표 요약집, p. 43.
- 이재화, 이하영, 유강민, 이병수 (1989) 황강리층의 석회질역에서 산출된 미화석과 그의 층서적 의의. 지질학회지, 25권 1호, p. 1-15.
- 이종혁 (1995) 옥천누층군의 지질, 서남 옥천대의 지질. 이종혁 교수 정년 퇴임 기념 논집, p. 15-130, 강원대 지질학과 동문회.
- 장태우, 이병주 (1995) 변성 옥천대의 지질구조. 이종혁 교수 정년 퇴임 기념 논집, p. 153-178.
- Kim, O. J. (1971) Metallogenic epochs and provinces of South Korea. J. Geol. Soc. Korea, v.7 (1), p. 37-59.
- Lee, D. S. (1971) Study on the igneous activity in the middle Ogcheon geosynclinal zone, Korea. J. Geol. Soc. Korea, v.7 (3), p. 153-216.
- Morikiyo, T. (1984) Carbon isotopic study on coexisting calcite and graphite in the Ryoke metamorphic rocks, northern Kiso district, Central Japan. Contrb. Min. Petr., v.87, p. 251-259.
- Nakazawa, K., T.Tokuoka and K. M. Yu. (1981) The Ogchon geosynclinal belt and the Hida metamorphic belt. Report : Soryen B, Lower Paleozoic-upper Proterozoic, Kyoto Univ.
- Nozawa, T., T.Takagi and Shimane University excursion group on Korean Geology (1987) Report of geological excursion in Korea. Geol. Rept. Shimane Univ., 6, p. 197-208 (in Japanese).
- Reedman, A. J. and C. J. N. Fletcher (1976) Tillites of the Ogcheon group and their stratigraphic significance. J. Geol. Soc. Korea, v.12 (2), p. 107-112.

1996년 1월 7일 원고접수