

옥천층군 흑색셰일내에 분포하는 흑연질단괴에 대한 광물학적 연구

Mineralogy of Graphitic Nodules Distributed in Black Shale in the Ogcheon Group

심재천(Jae Cheon Shim)*·문희수(Hi-Soo Moon)*·오재호(Jae Ho Oh)**

*연세대학교 지질학과

(Department of Geology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea)

**한국자원연구소

(Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejon 305-350, Korea)

요약 : 옥천층군의 상부 이질암에 속하는 구룡산층내의 함흑연질셰일층에서 흑연질단괴가 산출한다. 이들중 덕평과 조곡지역에서 산출되는 흑연질단괴는 두 지역 모두 장경 2cm 이하의 타원체가 주이며, 조곡지역의 단괴가 덕평지역의 단괴에 비하여 더욱 신장되어 있다. 덕평지역에서는 단괴가 초기 숙성기간 중에 생성된 것임을 지시해 주는 조직이 단괴와 모암의 접촉부에서 관찰되는 반면 조곡지역에서는 이러한 조직이 관찰되지 않는다. 덕평지역 단괴의 주구성 광물은 흑연, 인회석, 석영, 운모이고 조곡지역 단괴의 구성광물은 흑연, 석영, 운모이다. 덕평 및 조곡지역에서 산출되는 단괴내의 총탄소함량은 각각 40%, 5% 내외의 값을 갖는다. 덕평 및 조곡지역의 탄질물의 d_{002} 는 동일한 3.356~3.360Å의 범위의 값을 가진다. 이는 고진화된 흑연의 지면간격에 해당되는 것으로, 두 지역의 변성상이 동일함을 의미한다.

ABSTRACT : Graphitic nodules occur in Guryongsan Formation, which belongs to the upper pelites of Ogcheon Group. Of these, graphitic nodules in Dukpyeong and Jogog were studied mineralogically. Most of nodules are ellipsoidal and less than 2cm in diameter. The Jogog nodules are more elongated than Dukpyeong nodules. The contact between nodule and host rock in Dukpyeong reveals that nodules formed during early diagenesis, before mud was compacted. The major mineral assemblages of Dukpyeong nodules are graphite, apatite, quartz and mica, and those of Jogog nodules are graphite, quartz, mica. The total carbon content of Dukpyeong nodules and Jogog nodules averages 40% and 5%, respectively. (002) peak positions of the carbonaceous material from both occurrences range 3.356~3.360Å irrespective of locality. It indicates that the carbonaceous material in these areas is correspond to the basal spacing of highly evolved graphite. The systematic variations of the degree of graphitization in the nodules occurred in Dukpyeong and Jogog area can not be observed.

서 언

옥천층군 내의 흑색셰일은 우라늄과 바나듐이 함유된 사실이 밝혀진 1970년대 초부터 많은 연구결과가 보고되어 있고(이동진, 1986; 이동진과 상기남, 1981; 박봉순과 소철섭, 1980; 이민성과 전효택, 1980; 이민성과 김상욱, 1985; 박중권 외,

1983; 이대성 외, 1986; 오천혁과 김종환, 1988) 지질학자들의 많은 주목을 받아왔다. 그러나 본 지역에 대한 기존의 연구는 주로 저품위 우라늄의 탐사와 관련된 광물, 광상학적 성인 연구와 지구화학적 연구가 대부분이었다. 이들과는 다르게 본층에 수반되는 탄질물(carbonaceous material)의 진화정도에 관한 연구(Oh, 1987; Deurbergue et

al., 1987; Oh et al., 1991)가 수행되었으나 주변암의 변성도와와의 대비는 미흡했다. 탄질물의 진화 정도는 변성도와 관계가 매우 깊으므로 이러한 연구 결과는 본 지역의 변성도를 추정하여 옥천대의 지질작용을 규명하는 데 이용될 수 있을 것이다.

본 연구는 옥천대 서북부지역에 흑색셰일을 배태하는 구룡산층(괴산 남부의 덕평과 보은 서부의 조곡)을 대상으로 본 층의 흑연질대에서 산출되는 단괴의 광물학적 연구를 통하여 단괴의 특성을 밝히고 탄질물의 진화정도를 규명하는 데 그 목적이 있다.

지질개요

옥천층군은 삼태산 석회암 위에 놓이고 청주-황강리 지역에서 대항산 규암 아래 놓인다. 약간의 석회암을 첨재하는 두꺼운 쇄설성 퇴적암류로 대표되는 옥천층군은 하부로부터 하부 이질암, 함력이질암, 상부 이질암 및 사질암의 순으로 구분되는데 (Fig. 1) 이들은 변성작용을 받아 녹색편암에서 각섬암상에 이르는 다양한 변성상을 보인다 (Kim, 1987; 이종혁과 김정환, 1972; 김옥준 외, 1977). 본 연구지역인 구룡산층은 이중 녹색편암상을 보인다 (Kim, 1971).

옥천층군의 북서부를 따라서 하부에 석회질암을 수반하고 상부에 세립의 사질암을 수반하는 일련의 흑색이질암들중 하부는 흑색점판암이 우세한 구룡산층과 흑색점판암과 석회질암으로 구성된 화진리층으로 구분된다. 상부도 규암으로 구성된 미동산층, 흑운모편암으로 이루어진 운교리층으로 나누어진다. 함력이질암 위에 놓이는 상부 이질암과 사질암의 최하부에 위치하는 구룡산층은 하부에 석회질층을 포함한 흑색점판암과 사질천매암으로 구성되어 있다 (Kim, 1987). 구룡산층은 상부, 중부, 하부의 3개층으로 구성되어 있으며 사질천매암층을 사이에 두고 발달한다. 본 연구대상인 흑연질단괴가 산출되는 층군은 흑색점판암 층군의 최하위층에 발달한다. 덕평지역의 경우 사질천매암에서 50여 m (Fig. 2a), 조곡지역의 경우 사질천매암에서 30여 m 하부의 흑색셰일에

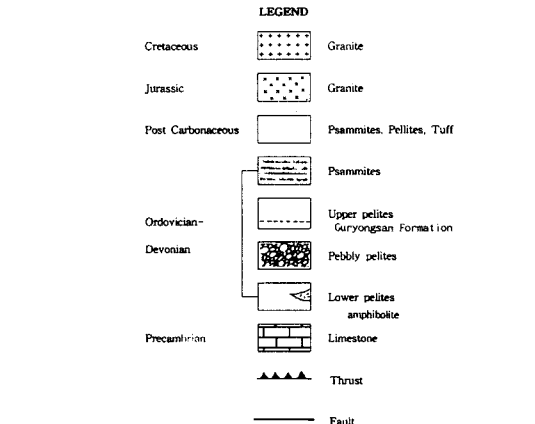
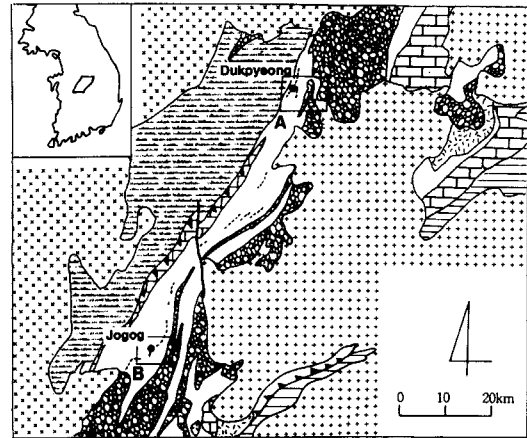


Fig. 1. Geological map of the Ogcheon Group (after Kim, 1987) showing sampling sites.

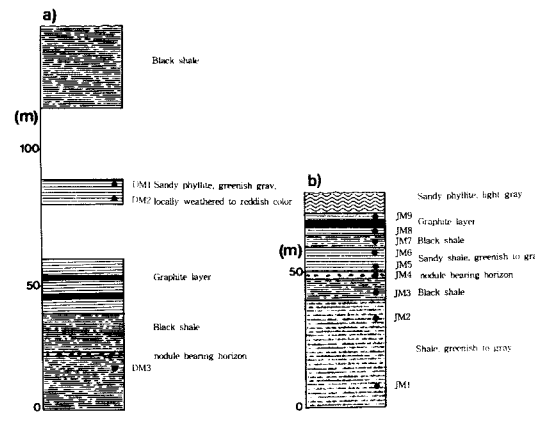


Fig. 2. Columnar sections of the Guryongsan Formation at Dukpyeong (a) and Jogog area (b), showing sampling site.

서 흑연질단괴가 산출한다 (Fig. 2b).

연구방법

덕평과 조곡 모두 과거에 채광된 폐광 인근 흑연층 하부의 폭 1m 정도의 층준에서 산출되는 흑연질단괴를 채취하였다. 채취한 시료들 중에서 육안 및 현미경 관찰을 통해서 대표시료를 선정하였다. 단괴의 중심부와 외곽부로 구분하여 각각에 대하여 박편, 연마편 제작, X-선 회절분석 및 총탄소함량을 분석하였다.

현미경 관찰을 위해서 장축방향으로 잘라 단괴를 구성하는 중심부에서부터 외곽부분 그리고 모암과의 접촉부분을 구분하여 박편 및 연마편을 만들었고, 전암시료에 대한 X-선 회절분석과 화학분석을 위해서 실온 (25℃)에서 건조시킨 후 200목 이하의 분말을 만들었다. 또한 탄질물에 대한 X-선 회절분석을 위해서 시료들을 100목 이하의 분말로 만들어서 산처리법으로 탄질물을 분리하였다. 산처리법 (Durand et al., 1972)은 6N 염산으로 암석내의 탄산염광물을 제거하고, 다시 6N 염산과 불산을 1:2의 비율로 혼합하여 규산염광물을 제거한 후 탄질물을 자동 케로젠 분리기를 사용하여 추출하였다.

전암시료에 대한 탄소의 함량을 알아보기 위해 Leco사의 WR-112 탄소측정기를 사용하였다. 표준탄소 시료를 3회 반복 측정한 결과, 오차한계는 ±0.3% 이내이다. 연소온도는 1,500℃이므로 고진화된 탄질물 (무연탄, 흑연)의 유기탄소 함량을 측정할 수 있다.

X-선 회절분석기는 MAC Science Inc.의 MXP 18A RINT-2500 model을 사용하였다. 분석조건은 Cu-Kα (1.5405 Å) 선을 사용하였고, 가속전압 및 전류는 40kV/30mA, 발산 슬릿 1mm, 산란 슬릿 1mm, 수광 슬릿 0.15mm, 회절선 채취간격은 0.01°, 주사속도는 전암시료에 대한 광물조합을 알아보기 위해서 2°/분, 분리된 탄질물에 대한 흑연화정도를 알아보기 위해서 FT method로 10초/0.01°로 분석하였다. 분리된 탄질물 분석시에는 정확한 값을 구하기 위해 실리콘 ($d_{111}=3.135\text{Å}$)을 표준시료로 사용하여 측정값을 보정하였다. 보정식은 d_{002C}

$=(\sin\theta_{111}\text{Si}/\sin\theta_{002}\text{C})d_{111}\text{Si}$ 와 같다.

단괴의 산출상태 및 조직

덕평지역

흑색셰일 내에 배태되는 흑연층 아래 층준에서 흑연질 단괴가 산출된다 (Fig. 2a). 층준의 폭은 1m 정도이고 연속성이 불량하다. 크기는 장경 20cm에서 1cm 미만까지의 작은 크기까지 다양하지만 대체로 장경 1~2cm의 단괴가 주를 이룬다. 이들 단괴들은 장축이 층리 방향에 거의 평행하게 놓이며 타원체를 이룬다. 노두에서 단괴와 모암의 접촉부를 보면 단괴에 의해서 모암의 층리가 변형된 구조가 나타난다. 이를 현미경을 통해서 관찰해 보면 단괴와의 접촉부로 갈수록 층리와 평행하게 배열되어 있는 쇄설성 석영 입자 또는 점토광물 입자들이 단괴의 영향으로 층리와 비스듬히 배열되어 있는 조직을 관찰할 수 있다 (Fig. 3).

단괴 산출 층준에서 상부로 가면서 흑연층, 녹회색의 사질천매암, 흑색셰일이 나온다. 이들의 광물조성은 Table 1과 같다. 공통적으로 흑연, 석영, 운모가 나오며 상부로 갈수록 운모의 상대적인 함량이 증가된다.

단괴는 동심원 모양의 인회석 맥에 의해서 중심부와 외곽부로 구분되는데, 중심부를 구성하는 광물에 따라서 3가지 유형으로 구분할 수 있다. 중심부가 석영으로 구성된 것, 흑연으로 구성된 것 그리고 공동으로 남아있는 것 등이다. 중심부가 석영으로 구성된 단괴들 중에는 단괴의 외곽부까지 연결되는 크랙이 보이는데, 이를 따라 2차적으로 석영 세맥이 발달된다 (Fig. 4A). 초기에 단괴의 중심을 구성하고 있던 물질이 용탈되어 나가고 2차적으로 석영 세맥이 충전하거나 빈 공동의 상태로 남아있는 것도 있다. 중심부를 구성하는 광물의 차이를 제외하고는 단괴 사이에 광물조합이나 조직상의 차이는 보이지 않는다. 공통적으로 외곽부로 갈수록 망상형의 크랙이 발달해 있고, 이는 인회석 세맥으로 충전되어 있다.

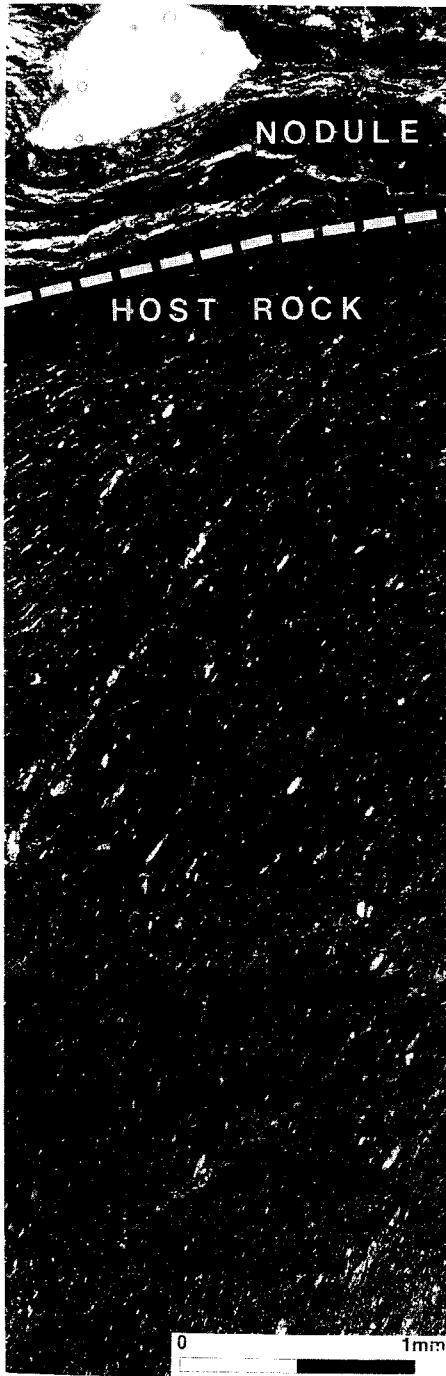


Fig. 3. Photomicrographs of contact between nodule and host rock. Curvature of host rock lamellae around the nodule indicates that the nodule formed during early diagenesis, before mud was compacted.

Table 1. Sample description and mineral assemblages based on bulk XRD data.

Locality	Rock type	Sample*	Mineral Assemblages**
Dukpyeong	host rock	DM1	graphite, quartz, mica
		DM2	graphite, quartz, mica
		DM3	graphite, quartz, mica
	nodule	DN	graphite, apatite, quartz, mica
Jogog	host rock	JM1	graphite, quartz, mica, chlorite
		JM2	graphite, quartz, mica, chlorite
		JM3	graphite, quartz, mica, chlorite
		JM4	graphite, quartz, mica, chlorite
		JM5	graphite, quartz, mica, chlorite
		JM6	graphite, quartz, mica, chlorite
		JM7	graphite, quartz, mica
		JM8	graphite, quartz, mica, pyrite
		JM9	graphite, quartz, mica, pyrite
		JM10	graphite, quartz, mica, pyrite
nodule	JN	graphite, quartz, mica	

* Sampling horizons are shown in Fig. 2.

** Arranged in the order of abundance.

조곡지역

본역에서 산출되는 단괴도 흑연층 하부에 위치한 흑색세일 내의 폭 1m 정도의 층준에서 산출된다. 크기는 장경 2cm 미만이 주를 이루며 장축이 층리방향에 거의 평행하게 놓인다. 덕평지역에서 산출되는 단괴에 비해서 납작하다. 이는 조곡지역이 덕평지역에 비해 상대적으로 심한 변형작용을 받았을 것이라는 추측을 가능케 한다. 풍화에 의한 탄산염광물의 용탈로 보이는 공동이 육안으로도 확인되며 2차적인 석영맥이 발달된다.

모암의 층리가 단괴 내부까지 연장되는 것이 현미경하에서 관찰된다. 단괴 내부의 층리에 따라 미립질의 흑연이나 쇠설성 석영입자가 배열되어 있다 (Fig. 5B). 덕평지역에서 산출되는 단괴에서 볼 수 있는 망상형 세맥은 보이지 않는다. 초기 단괴를 구성하고 있던 탄산염광물들의 용탈로 인한 것으로 보이는 공동이 덕평지역의 단괴에 비하여 더욱 흔하게 관찰된다.

조곡지역의 주변모암은 하부에서부터 암회색세

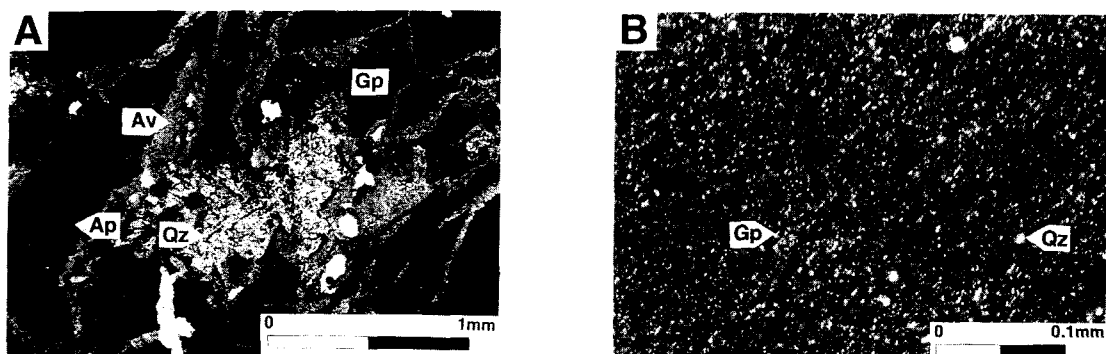


Fig. 4. Photomicrographs of Dukpyeong nodule (A) and Jogog nodule (B). A) The core part consists of quartz, apatite and graphite matrix. B) Quartz, and mica grains are aligned parallel to the lamellae which extends from the host rock. Abbreviations: Gp, graphite; Qz, quartz; Ap, apatite; Av, apatite vein.

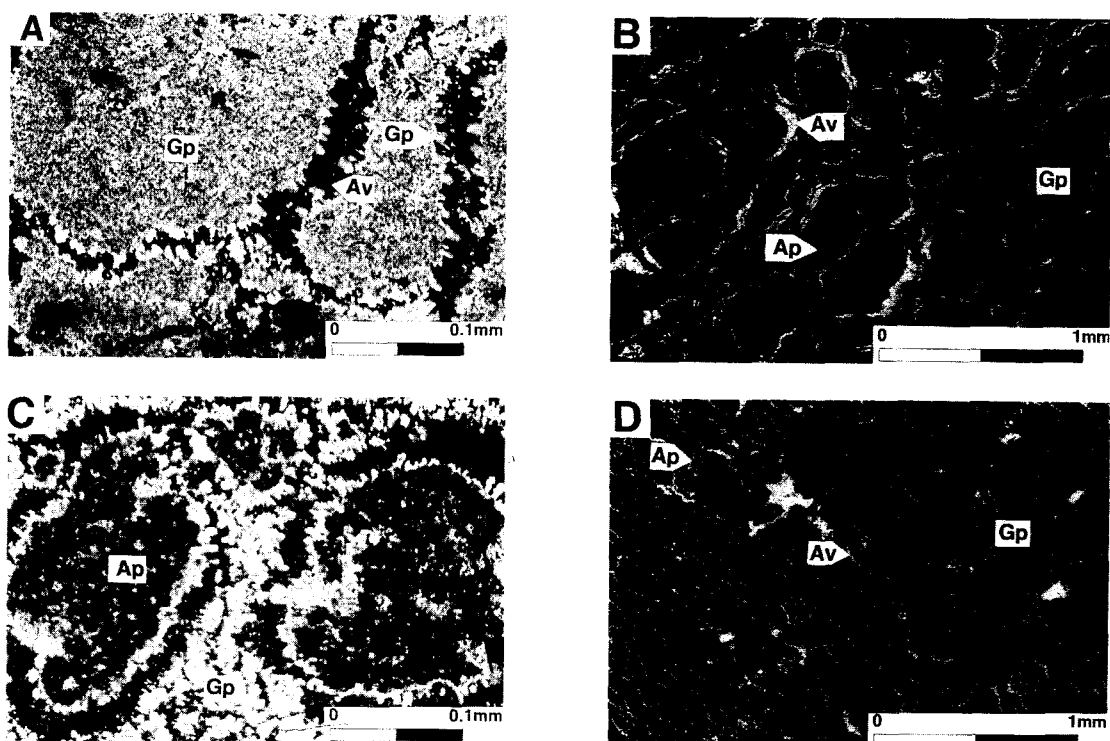


Fig. 5. Photomicrographs of polished sections (A, C) and thin sections (B, D) of Dukpyeong nodules. A) Graphite has grown toward the apatite vein, B) Net-like cracks are observed in the outer part of Dukpyeong nodule. Subhedral to euhedral apatite occur in the graphite, C) Apatite overgrowth texture, and D) Subparallel thin vein with fine grained apatite are developed in the graphite matrix. Abbreviations: Gp, graphite; Ap, apatite; Av, apatite vein.

일, 단괴를 배태하는 흑색세일, 녹회색의 사질세일, 흑색세일, 흑연층 그리고 흑연층에 부정합으로 놓이는 담회색의 사질천매암으로 구성되어 있다. 이들의 광물조성은 Table 1과 같다. 공통적으로 흑연, 운모, 석영이 나오며, 하부에서는 녹니석이 나오다 JM7부터는 나오지 않고 흑연층과 인접한 JM8부터는 황철석이 나온다.

단괴의 광물학적 특성 및 흑연화정도

광물학적 특성

현미경관찰 및 X-선 회절분석결과 덕평지역에서 산출되는 단괴를 구성하는 광물은 흑연, 인회석, 석영, 운모이고 조곡지역에서 산출되는 단괴를 구성하는 광물은 흑연, 석영, 운모이다.

덕평지역에서 산출되는 단괴의 X-선 회절분석결과 이들 단괴는 공통적으로 인회석 함유량이 높으며, 석영(101)면과 흑연(002)면 피크가 중첩되어 나타난다. 운모는 단괴 내에서는 미미하거나 거의 나타나지 않고, 모암에서는 미미하게 나타난다. 한편 석영의 양은 단괴에 비하여 모암에 상대적으로 더 풍부하며 인회석은 모암에서는 거의 관찰되지 않는다.

덕평지역 단괴의 인회석은 단괴의 세맥을 채우는 세립질로 주로 산출된다 (Fig. 5D). 편광현미경상에서 투명하게 보이므로 석영 세맥과 구분이 용이하지 않으나 음극선발광현미경에서 인회석은 노란색을 발하므로 석영이나 기공과 뚜렷히 구별되었다. 덕평지역에서 산출되는 단괴에 나타나는 인회석은 3가지 형태로 나타난다. 가장 우세한 형태로 1) 단괴에 발달해 있는 세맥을 충전한 것 (Fig. 5B, D), 2) 주로 단괴의 외곽부분에 발달하는 망상구조 내부에 자형에서 반자형의 결정을 이루는 것 (Fig. 5B) 그리고 3) 인회석 결정 주위에 재성장한 것 등이 있다 (Fig. 5C). 결정으로 나타나는 인회석은 세맥보다는 흑연 사이에 있으며 크기는 0.05~0.1mm 정도이다. 결정형은 단괴의 중심부의 것이 외곽부 망상구조를 이루는 부분에서 산출되는 인회석보다 좋다.

조곡지역에서 산출되는 단괴의 경우 모암과 성

분 차이가 뚜렷하게 나타나지 않는다. 공통적으로 운모 피크가 나오고 석영(101)면과 흑연(002)면의 피크가 중첩되어 나타난다. 덕평지역에서 산출되는 단괴와 비교할 때, 인회석이 나오지 않고 운모의 양이 많은 것이 특징이다.

두 지역 단괴에서 공통적으로 산출되는 운모와 석영을 간단히 기술하면 다음과 같다. 운모는 미립질의 흑연 사이에 0.1mm 정도의 크기로 관찰된다. 주로 단괴의 중심부, 단괴와 모암이 접하는 부분에 분포되어 있다. 단괴 중심부에서 산출되는 운모는 일정한 방향성을 띄지 않는다. 주로 흑연 사이에서 산출된다. 모암과 접하는 부분에서 산출되는 운모는 대체로 모암의 층리 방향으로 신장되어 있다. 비교적 입자도 단괴 중심부에서 산출되는 운모보다 크다. 2 μ m 이하의 점토광물을 분리하여 X-선 회절분석을 한 결과 덕평과 조곡 모두 2M1 바나듐 운모가 가장 우세한 상(phase)임을 보인다.

석영은 단괴 내에서 주로 쇄설성 입자로 산출되는데, 재결정화되어서 단괴내부의 망상형 크랙이나 단괴 중심부의 공동을 채우기도 한다. 모암에서 나타나는 석영 입자의 크기가 더 크며 0.02~0.1mm의 크기로 나타난다.

이러한 두 지역에서 산출되는 단괴의 광물조성 차이를 잘 보여주고 있는 단괴의 전암분석자료는 Table 2와 같다. 덕평지역에서 산출되는 단괴에는 CaO, P₂O₅ 함량이 모암 및 조곡지역에서 산출되는 단괴보다 수십~수백배 많은데 이는 인회석에 기인한다. 덕평지역에서 산출되는 단괴에는 9.60~11.73%의 P₂O₅가 함유되어 있는데, 이는 해성 carbonate-fluor-apatite내의 P₂O₅를 37% NORM으로 가정할 때 (Altschuler, 1980) 26~32%의 인회석이 들어있는 것을 의미한다. 점토광물과 관련이 있는 Al₂O₃, K₂O의 함량은 조곡지역에서 산출되는 단괴에 수십배 농집되어 있다.

흑연화정도

흑연은 탄소원자의 3차원적 배열을 통해서 육방정계를 형성하는데, 이때 층의 직경은 급격히 증가하고, (002) 저면간격은 3.354Å으로 줄어든

Table 2. The average concentrations of major elements in nodules and host rocks of Dukpyeong and Jogog.

	DN	Dm	JN	Jm
SiO ₂	16.01	51.54	60.77	62.39
Al ₂ O ₃	0.59	13.15	18.79	18.94
Fe ₂ O ₃	0.52	0.48	2.74	1.43
MgO	0.47	1.30	1.03	0.94
CaO	23.82	0.45	0.05	0.07
Na ₂ O	0.03	0.12	0.29	0.20
K ₂ O	0.09	4.05	4.44	4.84
TiO ₂	0.02	0.55	0.52	0.54
P ₂ O ₅	10.86	0.23	0.07	0.07
MnO	0.01	0.01	0.00	0.00
C	40.53	18.63	5.17	4.76
Total	92.95	90.48	93.84	94.16

DN, Dukpyeong nodule; Dm, Dukpyeong host rock

JN, Jogog nodule; Jm, Jogog host rock.

다 (Teichmüller, 1987). 덕평, 조곡 지역에서 산출되는 흑연질 단괴를 구성하는 흑연은 미립질이다. 반사현미경하에서 노랑색을 띄며 높은 반사율을 갖는 부분으로 입자별 동정은 되지 않으나 (Fig. 5A의 흑연집합체), 인회석, 석영 세맥과 접촉부에 있는 흑연의 경우 입자가 10~15 μ m 정도의 크기를 가지며 소광 및 색상 변화를 일으키는 개별 입자가 관찰된다 (Fig. 5A의 인회석 세맥과 접한 흑연 입자). 일부 세맥과 접하는 부분의 흑연입자는 맥을 향해서 길게 성장한 모습이 관찰되는 것으로 보아 (Fig. 5A) 맥과 접하는 부분은 미립질의 흑연 입자가 재결정화되면서 성장한 것으로 생각된다. 모암에서는 미립질의 흑연이 층리의 방향으로 신장되어 나타난다.

탄질물의 경우 탄화정도가 무연탄을 지나서 연속적으로 진행되면 변성무연탄 (meta-anthracite), 아흑연 (semi-graphite), 흑연 (graphite)으로 진화되는데 변성무연탄에서부터 최대 반사율의 지속적인 증가상태와는 반대로 최소 반사율은 점점 감소되기 시작한다. 따라서 이방성은 급격히 커지기 시작하여 흑연이 될 때까지 그 정도가 더욱 심해진다 (Kwiecinska, 1980). 덕평, 조곡지역에서

Table 3. The d_{002} values and total carbon content of nodules and host rocks from Dukpyeong and Jogog.

	2 θ (degree)	2 θ_s (degree)	d_{002} (Å)	C (wt.%)
D1	26.560	28.480	3.358	41.2
D2c	26.560	28.460	3.356	41.1
D2o	26.550	28.470	3.358	41.3
D3-1	26.480	28.380	3.357	41.1
D3-2	26.540	28.440	3.356	40.6
D3-3	26.530	28.460	3.360	37.3
D4c	26.500	28.410	3.358	39.3
D4o	26.540	28.450	3.357	42.5
Dm1	26.550	28.470	3.358	19.6
Dm2	26.540	28.460	3.358	17.6
J1c	26.540	28.440	3.356	5.4
J1o	26.524	28.440	3.358	5.0
J2	26.552	28.480	3.359	3.8
Jm1	26.557	28.490	3.360	5.1
Jm3	26.518	28.440	3.359	4.5

D- and J-series are the nodules from Dukpyeong and Jogog, respectively.

Dm- and Jm-series are the host rocks from Dukpyeong and Jogog, respectively.

산출되는 단괴 및 모암의 연마편 시료를 침유시키고 페쇄니콜 상태에서 석고판을 삽입하고 관찰하면 스테이지를 회전함에 따라 붉은색에서 파랑색으로 그리고 노랑색으로 색상변화가 일어나는데, 이는 본역의 탄질물이 이방성을 띠는 것을 나타내며 진화도가 높음을 의미한다.

덕평지역 및 조곡지역에 산출되는 단괴의 총탄소함량은 각각 37.3~42.5%과 3.8~5.4%의 값을 갖는다 (Table 3). 현미경관찰시 방해석 등의 탄산염광물이 동정되지 않았으므로 이들을 유기기원의 탄소라고 가정하고 총탄소와 흑연의 진화도와의 관계를 알아보기 위해서 단괴 및 이를 배태하고 있는 모암의 탄질물을 분리하여 X-선 회절분석으로 (002) 저면간격을 측정하였다. 전암시료에서는 흑연의 (002) 피크가 석영의 (101) 피크 및 운모의 (003) 피크와 중첩되어 나타나기 때문에 정확한 값을 얻기 힘들기 때문에 흑연을 분리하여 측정하였다. 덕평지역에서 산출되는 단괴의 경우 인회석은 거의 완전하게 분리되고 운모는 약

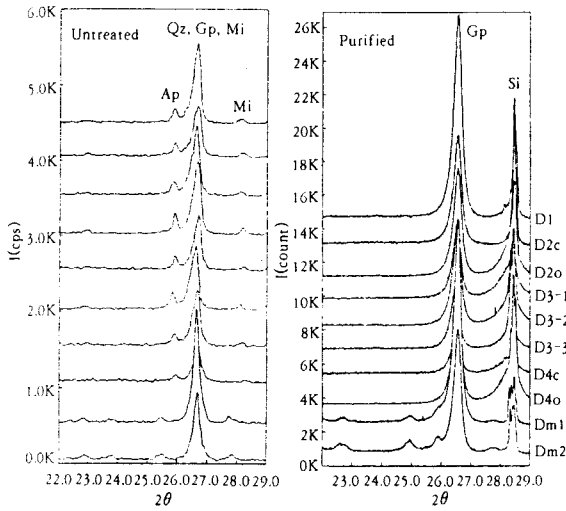


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of carbonaceous material of untreated and purified from Dukpyeong nodules and host rocks. Abbreviations: Gp, graphite; Ap, apatite; Qz, quartz; Mi, mica; Si, silicon. D- and Dm-series are nodules and host rocks, respectively.

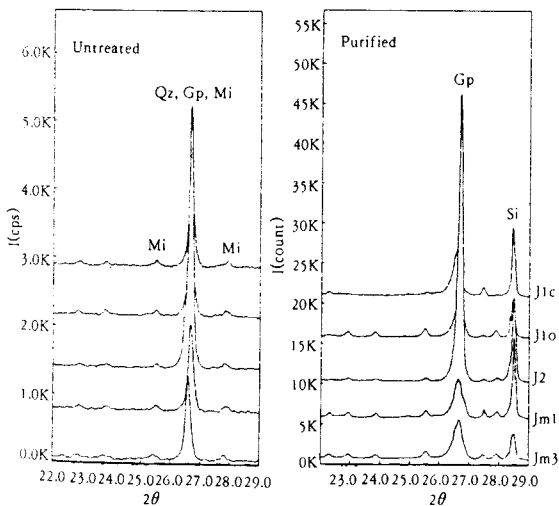


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of carbonaceous material of untreated and purified from Jogog nodules and host rocks. Abbreviations: Gp, graphite; Qz, quartz; Mi, mica; Si, silicon. J- and Jm-series are nodules and host rocks, respectively.

간 잔류되었다 (Fig. 6). 조곡지역에서 산출되는 단괴의 경우 운모가 약간 남아 있는 것을 볼 수 있다 (Fig. 7). 분리한 탄질물에 대하여 측정된 흑연

의 (002) 저면간격은 3.356~3.360 Å이고 이 결과는 Table 3과 같다. 이는 덕평 및 조곡지역의 탄질물이 흑연단계로 높게 진화된 것을 보인다. 이 결과는 덕평지역에서 산출되는 탄질물에 대한 Oh (1987)의 보고 - (002) 저면간격이 3.359~3.360 Å의 값을 갖는다 - 와 잘 일치한다. 총탄소함량의 차이가 8배 정도 차이가 나는 두 지역 사이의 차이는 물론 단괴의 중심부와 외곽부 사이에 일관적인 (002) 저면간격의 차이가 보이지 않는다. 그리고, 단괴와 이를 배태하고 있는 모암 사이에도 (002) 저면간격의 차이가 보이지 않는다. 두 지역 사이의 흑연화 정도가 비슷하다는 것은 두 지역의 변성상이 동일함을 의미한다.

단괴의 성인

이질암은 일반적으로 고화된 후에는 투수율이 나빠지기 때문에, 이질암에서 단괴는 대체로 고화되기 전에 생성된다 (Blatt, 1982). 또한 모암이 고화되기 전에 단괴가 성장하게 되면 단괴가 성장하면서 모암에 응력을 주어 모암의 층리의 변형을 유발한다. 덕평지역에서 산출되는 단괴와 모암간의 접촉부를 관찰하면 단괴와의 접촉부로 갈수록 층리와 평행하게 배열되어 있는 쇄설성 석영 입자 또는 점토광물 입자들이 층리와 비스듬히 배열되어 있는 조직을 보이는데 이로 판단하여 보면 덕평지역에서 산출되는 단괴는 모암이 고화되기 전인 퇴적과 동시 또는 초기 속성기간중에 생성된 것으로 생각된다. 한편 조곡지역에서 산출되는 단괴는 단괴와 모암간의 접촉부에 생성시기를 지시해 주는 조직이 나타나 있지 않다. 모암의 층리가 단괴의 내부까지 연장되고 단괴가 덕평지역에 비해 납작하게 산출되는 것으로 보아 조곡지역이 더 심한 변형작용을 받았을 것으로 생각된다.

결론

덕평지역에서 산출되는 단괴의 구성광물은 흑연, 인회석, 석영, 운모이고 조곡지역에서 산출되는 단괴의 구성광물은 흑연, 석영, 운모이다. 인회석은 덕평지역의 단괴에서만 산출된다.

덕평 및 조곡지역에서 산출되는 단괴는 모암의 층리방향과 대체로 나란한 방향으로 장축을 갖는 타원체이며 조곡지역에서 산출되는 단괴가 더 신장되어 있다. 덕평지역에서 산출되는 단괴에는 망상형 세맥이 발달해 있는데, 이는 주로 인회석이나 석영으로 충전되어 있다. 조곡지역에서 산출되는 단괴에는 탄산염광물의 용탈로 보이는 공동이 많이 보인다.

단괴 내의 총탄소함량은 덕평지역에서 산출되는 단괴는 37.3~42.5%의 총탄소함량을 갖는데 이는 조곡지역에서 산출되는 단괴의 총탄소함량 3.8~5.4%에 비하여 8배 정도 많다.

X-선 회절분석으로 측정된 덕평 및 조곡지역에서 산출되는 흑연의 (002) 저면간격은 3.356~3.360 Å으로 단괴의 내·외부간, 지역간에 체계적인 어떤 변화나 차이를 보이지 않는다. 본역은 3.35~3.36 Å의 고진화된 흑연이 산출되는 것으로 알려진 New Zealand의 Wakatipu (amphibolite facies; Landis, 1971), 일본의 Sanbagawa (biotite zone; Itaya, 1971), 미국의 Narragansett 분지 (garnet zone; Grew, 1974)에 비하여 낮은 녹색편암상의 변성상을 갖는데도 이보다 변성상이 높은 지역에서 산출되는 흑연과 매우 유사한 저면간격을 갖는 흑연이 산출된다.

Deurbergue et al. (1987)는 한국의 무연탄의 흑연화과정을 TEM과 X-선 회절분석을 이용해 연구한 결과, 압력이 무연탄과 같은 불균질한 물질에 작용할 때, 무연탄내의 기공부근 (pore boundary)에 전단력 (shear stress)을 주어 국부적인 흑연화가 촉진되고, 또한 단층과 같은 구조운동에 의한 전단력과 암상의 불균질성에 의한 국부적인 전단력의 차이에 의해서도 낮은 변성상에서 흑연이 생성됨을 보고하였다. 이처럼 흑연화정도는 변성작용에 주된 영향을 받지만, 미세조직, 암상의 불균질성, 구조운동에 의한 전단력에 의해서도 영향을 받기 때문에 이들 요소가 같이 고려되어야 할 것이다.

사 사

이 연구는 교육부 기초과학육성연구비 지원

(BSRI-95-5415)과 전략광물자원연구센터의 일부 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사한다. 탄질물의 진화에 대하여 조인과 실험을 도와주신 한국자원연구소 석유해저부의 정태진 박사께 진심으로 감사드린다.

참고 문헌

- 김옥준, 이대성, 이하영 (1977) 보은도폭, 자원개발연구소.
- 박봉순, 소철섭 (1980) 한반도 옥천대에 분포하는 함우라늄층의 지질구조규제 및 조성광물과 우라늄분포와의 상관관계연구. 광산지질, 13, 215-227.
- 박중권, 김종환, 김정택, 김대업, 임현철 (1983) 미원동북부지역 우라늄광상 조사연구. 우라늄정밀조사연구, 동력자원연구소, 핵연자료-2-14, 7-56.
- 오천혁, 김종환 (1988) 우라늄 광화작용에 기여하는 유기물의 역할. 광산지질, 21, 319-329.
- 이대성, 윤석규, 이종혁, 김정택 (1986) 옥천대 우라늄광층의 구조규제 및 지구화학적 특성 연구. 광산지질, 19, 특별호, 19-41.
- 이동진 (1986) 옥천계 흑색슬레이트내 부존하는 저품위 우라늄광석에 대한 광물학적 연구. 광산지질, 19, 133-146.
- 이동진, 상기남 (1981) 흑연질우라늄 광석의 광물학적 연구. 조사연구보고 12호, 119-131.
- 이민성, 전효택 (1980) 옥천대 함우라늄지층층의 우라늄과 타성분과의 상관관계. 광산지질, 13, 241-246.
- 이민성, 김상욱 (1985) 옥천계 함우라늄 탄질암층의 우라늄의 존재상태와 광물종. 광산지질, 18, 135-138.
- 이종혁, 김정환 (1972) 괴산도폭, 국립지질조사소.
- Altschuler, Z. S. (1980) The geochemistry of trace elements in marine phosphorites. Part I. Characteristic abundances and enrichment. In: Bendor, Y. K. (Eds.) Marine phosphorites-Geochemistry, occurrence, genesis. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 19-30.

- Blatt, H. (1982) Sedimentary petrology. Freeman, 564p.
- Deurbergue, A., Oberlin, A., Oh, J. H., and Rouzaud, J. N. (1987) Graphitization of Korean antracites as studied by Transmsion Electron Microscopy and X-ray diffraction. International Journal of Coal Geology, 8, 375-393.
- Durand, B., Espitalie, J., Nicaise, G., and Combaz, A. (1972) Etude de la matiere organique insoluble (kerogène) des argiles du Toarcien du Bassin de Paris. Rev. Inst. Fr. P trole, 27, 865-884.
- Grew, E. S. (1974) Carbonaceous material in some metamorphic rocks of New England and other areas. J. Geol., 82, 50-73.
- Itaya, T. (1981) Carbonaceous material in pelitic schists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. Litho., 14, 215-224.
- Kim, H. S. (1971) Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon metamorphic belt. J. Geol. Soc. Korea, 7, 221-256.
- Kim, J. H. (1987) Caledonian Ogcheon Orogeny of Korea with special reference to the Ogcheon uraniferous marine black slate. Doctor thesis, Tokyo University, Japan.
- Kwieceńska, B. (1980) Mineralogy of natural graphites. Prace mineral., 67, 87p.
- Landis, C. A. (1971) Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., 30, 34-35.
- Oh, J. H. (1987) Etude structurale de la graphitization naturelle (exmple de gassins sud-Coreens). These de Doctor at de l'universite d'Orleans, France.
- Oh, J. H., Rouzaud, J. N., Oberlin, A., Deurbergue, A., and Kwak, Y. H. (1991) Structural study of graphitization in the Moongyeong coalfield, South Korea. Bull. Soc. géol. Fr., 162, 399-407.
- Teichmüller, M. (1987) Organic material and very low grade metamorphism. in Frey, M. (ed.) Low temperature metamorphism, New York, Blackie and Sons, ch. 4, 114-161.