

沃川帶 우라늄鑛層의 構造規制 및 地球化學的 特性研究¹⁾

李 大 聲* · 尹 碩 奎* · 李 鍾 革** · 金 正 澤***

Lithologic and Structural Controls and Geochemistry of Uranium Deposition in the Ogcheon Black-Slate Formation

Dai Sung Lee, Suckew Yun, Jong Hyeog Lee and Jeong Taeg Kim

Abstract: Structural, radioactive, petrological, petrochemical, mineralogical and stable isotopic study as well as the review of previous studies of the uranium-bearing slates in the Ogcheon sequence were carried out to examine the lithological and structural controls, and geochemical environment in the uranium deposition in the sequence. And the study was extended to the coal-bearing formation (Jangseong Series-Permian) to compare the geochemical and sedimentologic aspects of uranium chemistry between Ogcheon and Hambaegsan areas. The results obtained are as follows: 1. The uranium mineralization occurs in the carbonaceous black slates of the middle to lower Guryongsan formation and its equivalents in the Ogcheon sequence. In general, two or three uranium-bearing carbonaceous beds are found with about 1 to 1.5km stratigraphic interval and they extend from Chungju to Jinsan for 90km in distance, with intermittent igneous intrusions and structural disturbances. Average thickness of the beds ranges from 20 to 1,500m. 2. These carbonaceous slate beds were folded by a strong F_1 -fold and were refolded by subsequent F_2 -fold, nearly co-axial with the F_1 , resulting in a repeated occurrence of similar slate. The carbonaceous beds were swelled in hing zones and were shrunked or thined out in limb by the these foldings. Minor faulting and brecciation of the carbonaceous beds were followed causing metamorphism of these beds and secondary migration and alteration of uranium minerals and their close associations. 3. Uranium-rich zones with high radioactive anomalies are found in Chungju, Deogpyong-Yongyuri, Miwon-Boun, Daejeon-Geumsan areas in the range of 500~3,700 cps(corresponds to 0.017~0.087%U). These zones continue along strike of the beds for several tens to a few hundred meters but also discontinue with swelling and pinches at places that should be analogously developed toward underground in their vertical extentions. The drilling surveyings in those area, more than 120 holes, indicate that the depth-frequency to uranium rich bed ranging 40~160 meter is greater. 4. The features that higher radioactive anomalies occur particularly from the carbonaceous beds among the argillaceous lithologic units, are well demonstrated on the cross sections of the lithology and radioactive values of the major uranium deposits in the Ogcheon zone. However, one anomalous radioactive zone is found in a hornfels bed in Samgoe, near Daejeon city. This is interpreted as a thermal metamorphic effect by which original uranium contents in the underlying black slate were migrated into the hornfels bed. 5. Principal minerals of the uranium-bearing black slates are quartz, sericite, biotite and chlorite, and as to chemical composition of the black slates, Al_2O_3 contents appear to be much lower than the average values by its clarke suggesting that the Changri basin has rather proximal to its source area. 6. The uranium-bearing carbonaceous beds contain minor

* 延世大學校 地質學科 **江原大學校 地質學科 *** 韓國動力資源研究所

1) 本研究는 1981~1982年度 韓國科學財團研究費로 遂行되었음.

amounts of phosphorite minerals, pyrite, pyrrhotite and other sulfides but not contain iron oxides. Vanadium. Molybdenum, Barium, Nickel, Zirconium, Lead, Chromium and fixed Carbon, and some other heavy metals appear to be positive by correlative with uranium in their concentrations, suggesting a possibility of their genetic relationships. The estimated pH and Eh of the slate suggests an euxenic marine to organic-rich saline water environment during uranium was deposited in the middle part of Ogcheon zone. 7. The Carboniferous shale of Jangseong Series(Sadong Series) of Permian in Hambaegsan area having low radioactivity and in fluvial to beach deposits is entirely different in geochemical property and depositional environment from the middle part of Ogcheon zone, so-called "Pibanryong-Type Ogcheon Zone". 8. Synthesizing various data obtained by several aspects of research on uranium mineralization in the studied sequence, it is concluded that the processes of uranium deposition were incorporated with rich organic precipitation by which soluble uranyl ions, U_2^{++} were organochemically complexed and carried down to the pre-Ogcheon sea bottoms formed in transitional environment, from Red Sea type basin to Black Sea type basin. Decomposition of the organic matter under reducing conditions to hydrogen sulfide, which reduced the UO_2^{+2} ions to the insoluble uranium dioxide(UO_2), on the other side the heavy metals are precipitated as sulfides. 9. The EPMA study on the identification of uraninite and others and the genetic interpretation of uranium bearing slates by isotopic values of this work are given separately by Yun, S. in 1984.

서론

연구목적과 범위

본 연구는 국내에서 우라늄 부존 가능성이 가장 높은 옥천대의 중부에 분포하는 함우라늄 탄질 흑색슬레이트의 층서, 암상 및 지각변동에 의한 지질구조 규제, 방사능 이상대의 平面相과 垂直相, 함우라늄 암층의 지구화학적 특성, 구성광물의 감별 및 유향 및 탄소 동위원소비의 측정 등에 의해서 본 광화대의 성인을 퇴적 환경 및 지구화학적 측면에서 규명하려는 데 목적을 두고 1981년도 한국과학재단 연구비에 의해서 수행되었다.

1980년초까지 옥천대에서 알려진 함우라늄 암층은 충청북도 괴산군 문광면 덕평리(德坪里)에서 청천면 歸晚里, 청원군, 보은군 북면 龍壽里, 회남면 鳥谷里와 分諸里에 이르고 이곳에서 화강암의 관입 구역을 지나 다시 충청남도 금산군 추부면 新坪里에서 시작하여, 馬田里 부근 추부터널, 북수면 木巢里를 거쳐 진산면 진산읍 내리에 이르는 총연장 90킬로미터 거리에 분포한다(그림 1). 함우라늄 지층은 주로 함탄질물 흑색 슬레이트 내지 사질 슬레이트로서 그의 두께는 대개의 경우 수십미터이고 이것이 몇차례 반복되어 나타난다.

상기 지대외에 이지대의 북동 방향연장인 충청북도 괴산군 미류면 梅峴里와 炭用里 지역에 분포하는 흑색 슬레이트 및 그의 근접 지층에 대해서 조사되었고 또 한 옥천대 동북부인 함백산 지구에 있는 석탄공사의

長省炭礦, 道溪炭礦, 咸白炭礦, 寧越炭礦과 대성탄좌의 聞慶炭礦, 丹陽炭礦 및 報恩炭礦에서 함탄대(사동층 상부)와 그 상부 흑색세일층(고방산층 하부)에 대해서 방사능 측정과 암상 조사를 실시하였다.

이는 옥천대의 중앙부의 함탄질물 흑색 슬레이트와 옥천대의 동북부 함탄질 흑색 세일과를 우라늄 지구화학적 관점에서 비교 검토하여 이들 간의 퇴적환경의 상이점을 고찰하는데 목적이 있다. 이경우 이 두지역의 흑색 점토질암간의 퇴적시기는 같다고 보는데 근거한다.

방사능 이상대의 수직 분포는 그간 동력자원연구소에서 실시한 시추자료에 근거해서 암질과 더불어 규명하였다.

옥천층군의 우라늄 광화에 대한 과거연구와 성과

한국에서 우라늄(U)과 토리움(Th)을 함유하는 광물이 알려진 것은 1910년대부터로서 이들은 monazite를 위시하여 smarskite, fergusonite, torbernite, autunite 등이다. 이들은 한국 각지에 걸친 광상조사를 통하여 단편적으로 얻어진 것으로 모나자이트를 제외하고는 어느 것이나 생산적인 것은 아니었다. 우라늄과 토륨 광물로서 원자력자원을 조사할 목적으로 조직적인 작업을 시작한 것은 1956년초부터이며 당시 중앙지질광물연구소의 탐사계획의 하나로서 Geiger counter · scintillometer에 의해서 남한을 지질단위별로 조사를 실시하였다. 이조사에서 옥천대내의 보은군 내북면 龍壽里 근방의 흑색점토암과 그 속에 협재하는 흑연층

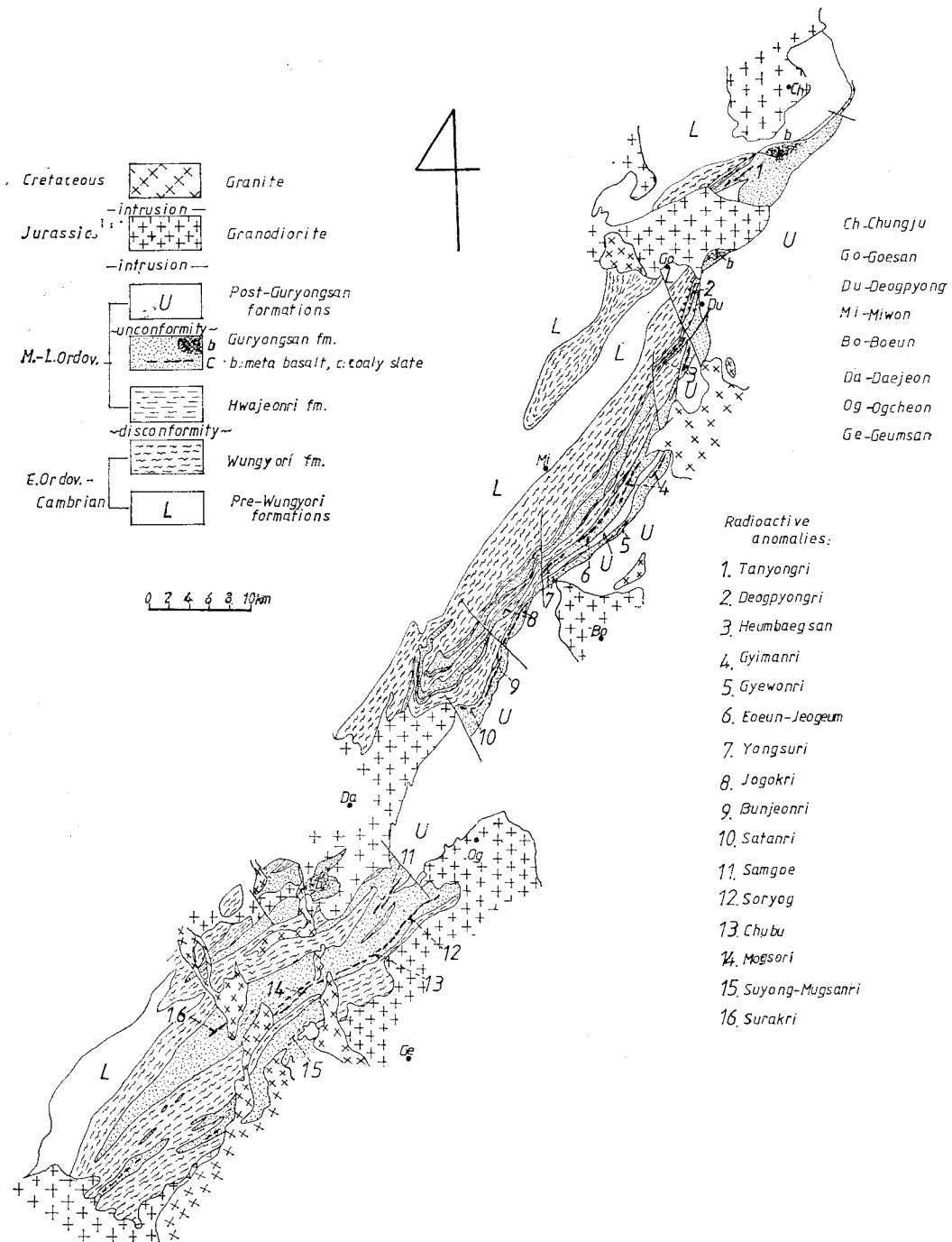


Fig. 1 Geologic map of argillaceous sediments(Guryongsan formation) and its adjacent rocks in the middle part of Ogcheon zone.

및 그의 동북방연장부가 방사능이 높다는 것을 알게 되었다(이대성의, 1956).

그후 제 2차 조사(김종수의, 1958)에서 충남 공주읍 남측에 분포하는 함흑연 결정편암은 방사능 異常値를 보여주었고 이에 대한 정밀조사와 우라늄 및 바나듐 분석에 주력한 결과 이에 는 우라니나이트(?)가 부존되어 있어 0.01% 내지 0.06%의 U_3O_8 를 함유하는 흑연질 편암이 부존되어 있음을 알게 되었다(윤상규의, 1958).

1968년에 이르러 2년간에 걸친 원자력광물자원의 조직적인 조사계획이 지질광물연구소에 의해 수립되었다. 이 조사사업의 하나로 옥천대내의 괴산, 대전, 미원 및 청산지역에 분포하는 저품위의 함탄층 및 흑색 셰일과 절판암이 조사대상이 되었고 옥천대내의 괴산, 대전 및 미원지역은 우라늄광물자원으로 본격적 탐사가 필요함을 알게 되었다. 이 작업에서 905개의 시료에 대하여 화학분석을 실시하여 휘발성분, 고정탄소, 회분 및 열량 cal/kg이 측정되었음은 획기적인 일이었다(김선역의, 1970).

그후 1971년과 1973년에는 콜럼보 계획의 일환으로 한·일 공동으로 방사성 광물자원조사가 옥천대내의 편암류를 비롯하여 흑색슬레이트, 흑연화 무연탄층 흑색 절판암층에 대해서 광범하게 이루어진 바 있다. 그 결과 괴산군, 덕평리, 보성탄광, 보은군 용호리 구름탄광, 대덕군 추부터널 북부 소룡탄광 등의 저질탄층에 현저한 이상대가 있어 이는 최고 3.28% 평균 0.095~0.02%의 U_3O_8 를 함유하고 있음을 알게 되었다. 이때까지의 조사결과는 김종환 등(1974)에 의해서 종합보고된 바 있다. 소철섭등(1978)은 탄질셰일내의 우라늄함량과 몇가지 조암광물과의 상관관계를 컴퓨터로 계산했고, 이민성(1978)은 괴산지구 함우라늄퇴적층 주변에 관입 분포하는 화강암류의 암석학적 조성, 우라늄 함량과 암석의 주성분산화물과의 상관관계를 밝혔다. 옥천대는 우라늄광화에 대해서 지질구조, 층서 및 광물 감별등 종합적인 연구가 시도된 것은 1980년 이후로서 김봉균등(1980)에 의하여 덕평지역의 지질구조 해석, 함우라늄 광물의 감식 및 광상성인적인 고찰이 언급되었다. 또한 이민성등(1980)은 그간의 분석결과를 종합하여 우라늄과 다른 성분간의 상관관계를 논했고, 박봉순등(1980)은 덕평부근의 지질구조 규제에 중점을 두었다.

1981년에 이르러 이상만등(1981)은 덕평 U광화대의 층서와 지질구조에서 퇴적암의 변성상, 광석의 특성과 구분, 광석광물의 감정 및 광화작용의 메카니즘등 일련의 종합적 연구를 수행하였다. 또한 이동진등(1981)

은 X-선 회절분석, autoradiograph 등을 이용하여 덕평리 광석의 광석광물의 감정과 성인에 대해서 고찰했다. 1983년말에 공포된 탐사연구 사업으로 대전 서남부 우라늄광상 조사 연구로 충남 대덕군 산내면 일부와 금산군 추부면 일부를 포함하는 지역에 분포하는 창리층내의 흑색슬레이트가 대상이 되었고 충남 금산지역(추부터널-진산)에 대한 28개공의 시추조사결과가 보고되었다.

1981년 이동진과 상기남의 흑연질 우라늄 광석의 광물학적 연구는 덕평, 대전 동남부 목소지역에서 채취된 흑색슬레이트를 (1) 흑연으로 구성된 광석, (2) 흑연과 석영을 다량으로 포함하는 광석, (3) 황화물을 다량으로 함유하는 광석으로 분류하고 이들에 함유된 광석을 1차 광석과 2차 광석(1차 광석은 표성기원)으로 구분하여 X-선 회절분석과 autoradiograph법으로 우라늄 광물을 감별하고 각 광물의 부분에 따른 성분 함량비(ppm)를 분석하는 작업을 실시했다(이동진의, 1981).

한편 이상만등은 또 다시 괴산군 덕평지역 변성퇴적암대에 배태된 우라늄 광상의 성인 연구에서 이 광상을 퇴적기원과 표성기원으로 구별하고 이들이 함유되어 있는 우라늄 광물들을 감별했다. 또한 그들은 우라늄 광상부존층의 지질구조해석과 변성도에 대해서도 논했다(이상만의, 1981).

한편 대전동남부 충남 대덕군 산내면 일부와 금산군 추부면 일대에 분포하는 창리층 내에서 유망한 이상대로 보이는 3개소의 광체를 대상으로 50개공 9,997m의 시추작업이 수행되어 각공당 평균 약 200미터 지하까지 탐사되었다(김정택의, 1981). 이 시추탐사에 의해서 함우라늄 흑색슬레이트의 지하 구조변동에 따른 위치변화와 지층의 분기등이 어느정도 추리되었다. 동시에 충청남도 금산지역(추부터널-진산)에 대해서도 총 7개공 2,134m의 시추가 실시되어 동일층군의 탄질흑색 슬레이트가 건설하게 횡적 및 수직으로 연속된다는 사실을 밝혔다(구자학의, 1981).

1982년에 들어와서 김종환등은 충주 서남부지역, 매현리지역 및 탄용리 부근 흑색슬레이트, 황강리 도록내 서창리층의 흑색슬레이트, 상내리층과 고방산층내 무연탄, 보은탄전 폐름기 함탄층을 대상으로 하여 트랜치작업을 실시하여 α -선 방사능측정과 우라늄을 비롯하여 미량성분 분석을 실시하여 각 원소의 상관관계수를 계산하였고 각 대표암석에 대하여 주성분 분석을 실시하여 이들과 미량원소들과 간의 관계도 밝힐 수 있는 자료를 마련하였다.

같은 해에 이동진등은 흑연질 슬레이트내 우라늄 및

조성광물에 대한 광물학적 연구에서 X-선 회절분석으로 2차광물의 감별과 노즐에 대한 우라늄성분의 autoradiographic 연구가 병행되었다. 이 연구에서 처음으로 jarosite와 hyalophane 등의 2차 광물이 확인되었고 퇴적환경과 2차 광물의 성인에 대해서도 취급되었다(이동진, 1982).

1983 후반에 들어와 한국동력자원연구소가 실시한 조사로 괴산군 덕평광상대에서 서남부 청천리까지 이르는 흑색슬레이트층들은 1차 및 2차 습곡, 역단층 및 주향이동단층 운동으로 이동한 변형구조를 밝혀 이 슬레이트층의 증첩과 단절을 설명하였으며 주요 우라늄 부존 대상층은 중부 흑색슬레이트임을 알게되었다. 이 지층의 화학성분은 Chattanooga shale과 Sweden의 alum shale에 비교된다고 했다(박종권의, 1983).

또한 이동진등(1983)은 대전-금산, 괴산-덕평, 보은 및 충주지역의 흑연질 슬레이트, 함우라늄 흑연질 phosphatic nodule, 흑연을 선별하고 남은 흑연질 슬레이트의 tailing 시료와 그에서 선별한 증광물시료를 EPMA로 분석하여 모든 시료에서 1차 우라늄 광물로 uraninite를 감별하고 그 형태와 크기(2~10 μ m)도 확인하였으며 그외의 수반 광화 광물류, 규산염광물, 황산염 광물 등도 밝혔다(이동진, 1984).

이상과 같은 과거의 조사연구를 종합할 때 특기할만한 사실을 요약하면 다음과 같다.

(1) 옥천대에서 함우라늄 이상대로서 탐사 대상이 되는 부분은 1983년까지 옥천대 및 주변부 조사 결과로 보아 옥천층군내의 흑색슬레이트, 저질탄층 및 탄질슬레이트이고 지방산 지역에서는 호른펠스임을 알게 되었다. 그러나 김중환등(1982)에 의한 충주 서남부지역 조사로 대간치와 탄용리 지역도 유망지임이 알려졌다.

(2) 함우라늄 지층들의 층서적 위치는 지질구조 해석에 따라 서로 다르기 때문에 이에 대한 문제는 아직 해결되어 있지 않다.

(3) 괴산지구, 대전, 동남부 및 금산도장골 지역에서 실시한 탐광 시추공의 조사결과에 의하면 옥천대에서 서남으로 감에 따라 시추심도는 일반적으로 깊어진다. 즉 괴산지구에서는 시추심도 10~90m 범위에서 이상대가 집중되는데 대하여 대전 동남부와 금산지구에서는 100~150m에서 방사능 이상대가 나타난다.

(4) U₃O₈은 흑색세일에서 최고 함량 0.092%(이민성 등, 1980)가 알려졌다고 지역에 따라 그의 평균치가 달라 0.042%~0.027%(김정환 등, 1974)를 나타낸다. U₃O₈과 기타 물질과의 상관 관계는 V₂O₅, F.C., Mo, V.M.의 순으로 상관관계가 약해진다(이민성의, 1980).

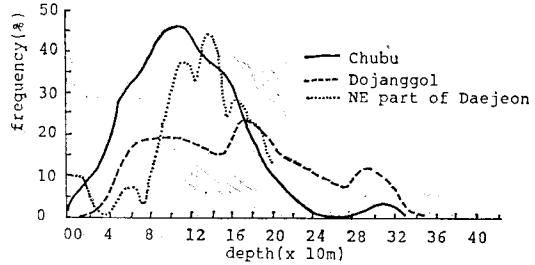


Fig. 2 Frequency of boring depth to ore beds, Chubu: 68 holes, Dojanggol: 42 holes, NE part of Daejeon: 11 holes

또한 U(log U)와 구성광물과의 관계에 대해서 박봉순의(1980)는 유기원탄소와 산화철과는 정(+)의 관계를 나타내는 부(-)의 관계로 변환한다고 했다.

(5) 광석의 광물감정

현재까지의 옥천대 우라늄 광석에서 감별된 광석 광물은 uraninite(?), meta-urano-circite, autunite, meta-torbernite, zeumerite, vandenbrandeite, meta-autunite, meta-tyamunite, torbernite, uraniferous apatite(?), bergenite, uraninite이다.

(6) 각 지구별 우라늄암층까지의 시추심도와 그의 빈도(%)는 그림 2와 같다.

함우라늄 암층의 일반지질

지금까지의 조사연구된 옥천층군의 층서와 구성암을 이중형의 주관에 따라 표시하면 다음과 같다(표 1).

옥천층군내에서 우라늄을 함유하는 암층은 泥質源 변성퇴적암이다. 그러나 이와 같은 이질원암을 주구성 암으로 하면서 의견상 층서를 달리하는 지층이 여러개 발달되어 있다. 그런데 금빈 연구대상인 것은 德坪, 米院, 報恩, 秋富 및 江景 지역을 각각 포함한 지질도폭에서 상기 이질원 변성암의 지층명이 도폭에 따라 다르게 명명되어 있다. 그러나 최근에 와서 몇몇 조사자들(이상만의, 1981)은 이와 같은 이질원암들을 묶어 하나의 지층으로 보려는 의견이 대두되고 있다. 이 같이 다양한 의견이 나올 수 있는 것은 습곡축 추적(fold axial tracing)이 암층의 變形構造(S₁, S₂ 또는 S₃)와 거의 일치함으로써 암층의 반복이 현저한데 기인한다. 그러나 黑鉛質 무연탄층을 협제하면서 우라늄을 배태하는 이질원층은 하나의 鏈層이 되리만큼 뚜렷한 층운을 갖는 독립층으로 볼 수 있다.

도폭조사자들의 발표내용을 종합하면 西倉里層, 倉里層, 飛鳳層, 文周里層 일부, 上乃里層 및 國師峯層 등은 모두 괴산도폭에서의 구룡산층(九龍山層)에 대비

Table 1 Stratigraphic sequence of Ogcheon zone.

System	Formation	Rocks
Ogcheon super-group	Myeongori Fm.	Chiefly gray to dark gray phyllite & chlorite schist
	Geumgang limestone Fm.	White crystalline dolomitic limestone
	Hwanggangri Fm.	Pebble bearing calcareous and/or pelitic phyllite
	~~~~Unconformity~~~~	
	Guryongsan Fm.	Black slate, graphite & coal bearing phyllite
	Hwajeonri Fm.	Limestone, calcareous slate
	—Relatiou unknown—	
Joseon super-group	Wungyori Fm. (intercalation with Midongsan quartzite Fm.)	Psammitic meta-sediments, (thinly black phyllite & crystalline limestone)

(after C.H. Lee, 1984)

되는 층으로서 흑연질 무연탄 내지 우라늄을 배태한다. 그러나 이질원 변성암층이지만 鳥峰層 및 梨花嶺層 및 문주리층 일부는, 구룡산층과는 층서를 달리하는 별개의 지층으로서 이는 黃江里 도곡에서의 鳴梧里層에 대비되는 층임이 금번조사에서 밝혀졌다.

구룡산층에 정합으로 덮히나 운교리층위에 관계미상으로 놓이는 花田里層은 옥천층군의 기저암층이 되고 있다.

운교리층은 사질암으로 구성되며 珪岩과 결정질 석회암을 협재한다. 층서적으로 본층은 조선계 누층의 연장부로 추정되나 주구성암이 psammitic facies를 갖는 암석인 이유는 해안선에 따른 transitional environment에서 이루어진 일종의 terrigenous marine deposit이기 때문인 것으로 추정되나 확증은 없다.

한편 구룡산층을 정합으로 덮는 수직상위의 층은 黃江里層이며 이층의 표시지는 층주-계천간으로서 이의 동남부에서 침멸된다. 그 이유는 밀한(tight) 북향사슴곡(synclinerium)의 습곡축이 大田 부근과는 상반된 방향으로 plunge됨으로서 대전서남부는 구룡산층보다 후기의 암층이 침식제거된 때문인 것으로 해석된다. 따라서 대전 서남부, 즉 錦山, 江景지역은 운교리층이 기반을 이루며 褶曲溝에 구룡산층이 불규칙하게 단속적으로 잔존하는 분포양상을 보여준다(그림 1).

과거 曺隣은 지역적인 산출상태와 岩種으로 보아 층을 달리하는 두개의 누층(이원리층과 황강리층)으로 판단했으나 금강석회암층과 명오리층간의 상호관계가 금번조사에서 규명되므로서 이들은 동일층임이 확인되었다.

황강리층을 정합으로 덮는 층은 금강석회암층으로서 이는 두께가 30m 내외에 불과한 얇은 층이고 단속적이긴 하나 일정한 層準을 유지하며 발달된다. 암질은 비

교적 MgO를 많이 함유(5%~10%)함과 동시에 백색 결정질임이 특징적으로서 標識地는 황강리, 보은 및 옥천지역이다.

이상과 같은 금강석회암층을 역시 정합으로 덮는 층이 명오리층이다. 따라서 옥천지향사대에서 명오리층은 최상위층에 해당하며 pelitic black slate 내지 grayish phyllite가 주구성암으로 함탄질이나 우라늄을 함유하지 않으며 granite 주변부에서는 녹니석 편암으로 변성되어 있어 구룡산층의 상위층인지 또는 문주리층인지 구분하기 어려워 혼돈되어 왔던 지층이다.

### 지질구조

옥천지향사대의 습곡구조는 단순한 횡압력에 의한 일차적인 기하학적 형태를 이루는 것은 결코 아니다. 즉 여러차례의 연속적인 변이작용(變移作用)이 가해져서 再褶曲됨으로써 복합구조의 요소가 혼재하고 있다.

#### 지역별 광역구조

덕평-미원 지역 : 이 지역내의 퇴적원 변성암대의 전반적인 구조는 일련의 습곡대라고 할 수 있을 만큼 많은 대소습곡이 발달되어 있다. 이들 습곡으로 인해서 만들어진 선상구조(lineation)의 방향 즉 축적(axial trace)은 거의 대부분이 암층의 광물배열 방향( $S_0$ ) 혹은 편리방향( $S_1$ )과 일치되는 양상을 보여준다. 이와 같은 연속변위작용( $F_1 \sim F_2$ ) 중에서 제일 뚜렷하게 영향을 미치게 한 deformation이  $F_1$  습곡이지만  $F_2$  fold에 의해 refolding 되어 구룡산층이 분포되는 동남측에서 fold axial는 미원까지 극히 완만하게 대체로 SW 방향으로 경사지어 있는 반면 축면(axial surface)을 포함하는 구조( $S_1$ )는 NW로 기울는 것이 일반적이다. 따라서 본 지역에서의 옥천누층군의 변성퇴적암은 밀한(tight) 파고(amplitude)의 파상 습곡 구조를 가짐으

로써 지층의 반복, 침멸 및 소멸상을 도처에서 발견할 수 있다. 구성암층의 變成相으로 미루어보아도 이상과 같은 구조가 만들어진 과정은 비교적 지각표부에서 저온 그리고 차별적인 偏壓하에서 이루어진 것으로 추정된다.

즉 옥천지향사대의 규모(범위, 두께등)로 보아 봉압(封壓:confining pressure)에 기인한 변성상이라기보다는 편압에 보다 크게 지배됨으로 구성광물의 화학성분의 이동에 앞선 가소성(可塑性)의 증가가 우세하게 작용되어 암층의 변이가 극대화 된 것으로 판단된다.

따라서 급진조사 지역중 덕평-미원간은 tight amplitude이면서 광역 단사구조를 갖는 표시지로 지칭할 수 있다.

미원-옥천지역:전술한 덕평-미원 지역과 기타 구역의 옥천대가 갖는 근본적인 광역 구조에는 차이가 있다. F₁에 의한 fold axial의 plunge 방향이 본역에 이르러 덕평지역과는 달리 NE 방향으로 변화되나 축면의 경사방향은 NW로 그 변화는 없다. 또한 F₂ 습곡의 axial trace 역시 NE 방향이나 axial surface는 수직~SE로 upright 된다. 따라서 미원-옥천간 지역은 옥천층군의 하위암층(구룡산층)과 이에 관계불명으로 덮히는 운교리층(고운리층 일부, 마전리층, 계명산층에 대비)이 기반을 이루며 상대적으로 옥천누층군 중에서 구룡산층보다 상위의 지층(황강리층 및 덩오리층)들은 점차 그 분포범위가 협소하여지고 있다.

옥천-강경지역:본역을 대표하는 구조는 F₁, F₂의 습곡축의 plunge 방향이 미원-옥천지역보다 급하게 NE 방향으로 plunge되나 NW 방향의 S₁과 SE 방향의 S₂ 공히 경사도가 커지고 있음이 특징적이다. 결과적으로 F₂의 영향력을 가장 적게 받은 지역이며 특히 대전-강경간은 옥천지향사대의 남서단(南西端)부이고, 북향사대에 해당하기 때문에 주구성지질은 하위의 구성암층인 운교리층(협제되는 米東山層과 석회암 등이 존재)이 반복되어 광대하게 발달되며 간간히 적상위에 놓이는 화전리층과 구룡산층이 지형적인 trough area에 잔류상으로 불연속 대상을 이루어 분포된다.

구조분석

옥천-강경지역:(1) 먼구조 층리(S₀)는 전술한 바와 같이 첫번째 변형작용(F₁)이 매우 강력했던 까닭에 박층(薄層)이 교호하는 복합층(compositional layer)간의 암상의 차이가 현저한 경우 즉, 규암과 이질원암 혹은 석회암과 이질원암이 서로 교호하는 경우 등을 제외하고는 거의 관찰하기 어렵다. S₀는 대개의 방향과 평행하게 놓인다. 편리(S₁)는 이 지역에서 관찰되는 광역적 먼구조로서 Fig. 3-A에서 알 수 있듯이 약 N40°E의

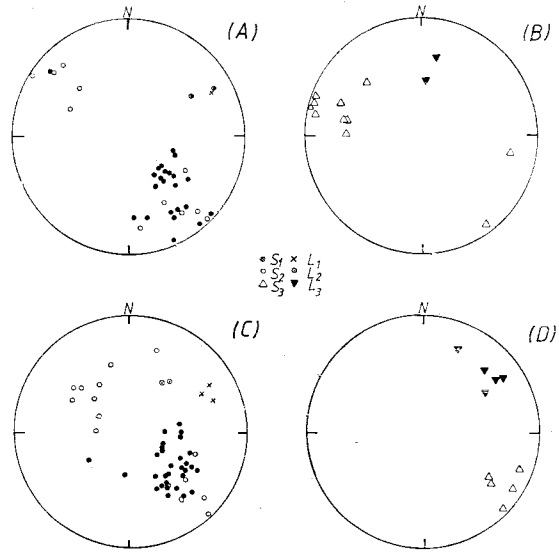


Fig. 3 Stereographic projections of structural elements of the argillaceous and phyllitic sediments in Ogcheon zone. (A) : F₁ structures of Ogcheon-Ganggyeong Area, (B) : F₂ structures of Ogcheon-Ganggyeong Area, (C) : F₁ structures of Ogcheon-Deogyong Area, (D) : F₀ structures of Ogcheon-Deogyong Area.

주향에 40°NW의 경사를 보여준다. 부분적으로 경사가 급한 것은 습곡에 지배받은 영향으로 인정된다.

Crenulation cleavage(S₂)도 대개 편리와 비슷한 주향(N48°E)을 나타내나 drag는 보다 급하게(55° 내외) SE-NE 등 상반된 경사를 보여주며 특히 SE 방향이 더 우세하다(그림 3-A).

한편 F₂에 의한 S₃는 강경 남사당 지역에서 역시 S₂와 거의 동일하게 NE의 주향이나, 경사는 S₁과 상반되게 SE70°~80°로 급경사한다. S₂와 S₃의 경사가 이렇게 급한 것은 그의 축면이 거의 직립(upright)하고 있음을 시사하는 것이며, S₂에 비해서 투영도가 집중 경향을 보이는 것은 F₂ deformation의 양상이 단조로운 synclinal open fold이며 이지역이 그 fold의 서북 limb에 해당함을 암시한다(그림 3-B).

(2) 선구조:이 지역에서 일차적 線構造는 주로 천매암 내지 점판암으로 이루어지는 지층의 구성물질의 균질성(homogeneity)에 기인함으로 야외에서는 잘 인지되지 않는다. 30° 이하의 interlimb angle을 갖는 몇 개의 소습곡에 의해서 미원 동남부는 북동향 트렌드(trend)에 20° 내외의 plunge를 보여준다. crenulation lineation(L₂)도 NE trend를 보여주나 미원 동북부는

서남방향으로  $15^\circ$  내외로 plunge 된다. 아마도  $F_1, F_2$ 의 변형작용은 거의 동일 방향의 axial trace 이면서 axial plane이 사교차(斜交叉)하는 형태로 중복해서 이루어진 것으로 추정된다. kink band도 때때로 관찰되는데 이의 방향성은 규칙성이 없다.

(3) 소단층 : 주로 함탄대 일대와 그 주변부에 많이 발달되고 함탄대로부터 멀어질수록 감소한다. 대개 잘게 끊어지는 변형(little deformation)의 산물로서 압쇄형상과 더불어 단층현상도 일어난다. 소단층구조는 야외에서  $F_1$ 에 의한 slate cleavage와 crenulation cleavage ( $S_2$ )는 물론  $F_2$ 에 의한 ( $S_3$ )까지도 절단하는 경우가 많이 관찰된다. 즉 이들은  $F_1$  및  $F_2$  구조를 간섭하고 있는 것으로 보아 대부분의 소단층은  $F_3$  구조로 간주된다. 이는 북서주향에 남서경사하고 북동 주향에 북서로 경사하는 형태로 나타나며 북동주향의 압쇄대는 특히 함탄대에서 크게 우세하다.

(4) 變形段階의 고찰 : 전기 구조요소들을 고찰해 볼 때 이 지역에는 적어도 3회의 변형단계가 있었던 것으로 판단된다.

첫번째 단계에서는 변형의 강도가 가장 강렬했던 것으로 interlimb angle이  $30^\circ$  이하의 밀한 등사습곡과 이에 수반되어 습곡 측면에 평행하는 slaty cleavage와 dependant drag fold의 axial plane이 main fold의 axial plane에 평행하지 않은 소위 incongruous drag fold ( $S_2$ )가 일어났다. 이 단계의 변형작용은 층리틀 소멸시키고 옥천누층에 대하여 전반적으로 현저한  $S_1$ 과  $S_2$ 를 형성시켰을 뿐만 아니라 각지층을 대규모의 습곡운동에 의하여 수회 반복하게 하였다.

두번째 변형은 첫번째 변형보다 강도가 낮은 편으로 폐쇄(close) 내지 개방(open) 습곡으로 slaty cleavage ( $S_3$ )를 생성시켰다. 첫번째 습곡과 마찬가지로  $F_2$  습곡도 옥천층군을 지역적으로 반복 노출하는데 기여하였다.

세번째 단계에는 kink 작용과 잘게 끊어지는 변형작용의 산물인 단층이 많이 형성된 것으로 생각할 수 있다.

떡평-옥천지역 : (1) 면구조 : 층리( $S_0$ )의 인지는 이 지역에서도 거의 불가능하나, 단지 각지층간의 지질경계로는 암질상 현저한 차이가 있으며 서로 인접하고 있는 복합층의 경계등이 대개  $S_0$ 에 해당하는 경우가 된다.  $S_1$ 은 역시 옥천층군 지층의 광역적 면구조로서 현저히 발달되어 있으며  $N35^\circ E$ 의 주향에  $40^\circ NW$ 로 경사하며 옥천-강경지역과 대동소이함을 알 수 있다. 또한  $S_2$ 는 이와 비슷하나 주향이 보다 NNE에 기울며, dip 역시  $SE30^\circ$  내외로 완만하나 NW 경사는  $50^\circ$  정

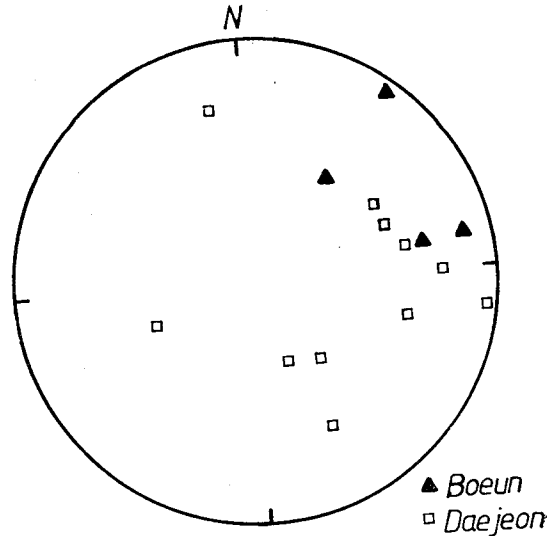


Fig. 4 Stereographic projections of minor faults in Daejeon and Boeun areas.

도로 급해지고 있다(그림 3-C).

그러나 특히 미원지역의  $S_1, S_2$ 의 주향 보다 NNE로 기울어지면서 경사는  $30^\circ$  내외로 완만해지는데 이는  $F_2$ 에 의해서 NE 방향의 axial plane의 plunge 방향이 NNE 방향으로 회전되는데 기인한다.

$S_3$ (slaty cleavage)는  $N30^\circ E$ 의 주향에  $80^\circ NW$  내지 SE의 경사를 보여주고  $F_2$  습곡의 측면은 직립하고 있음을 알 수 있다.  $S_2$ 의 경우도 산재되어 있는 점등은 신평리 일대에서 후기습곡 및 단층작용에 의해 간섭된 데 기인하는 것으로 생각할 수 있다(그림 3-D).

(2) 선구조 : 소습곡축  $L_1$ 에 해당하는 선구조는 야외에서 인지가 매우 어렵다. 그 원인은 옥천-강경지역에서 설명한 바와 같다. crenulation( $L_2$ )은 옥천-강경 지역보다 천매암 및 점판암에서 더 잘 관찰되며 Fig. 3-C에서 대개  $25^\circ$  trend에서  $20^\circ$  가량 plunge함을 알 수 있다. 이 지역에서  $F_2$ 의 trend가 옥천-강경 지역에 바해서 북쪽으로 더 접근하고 있음을 알 수 있다.

(3) 소단층 : 이 지역에서는 함탄대 일대가 일종의 압쇄대를 형성하고 있으며 그 이하의 지역에서 측정된 소단층은 북서주향에 남서로 경사하는 것이 많다(그림 4).

(4) 변형단계의 고찰 : 이상의 면구조와 선구조들을 고찰해 볼 때 이 지역에서는 3회의 변형작용이 일어난 것으로 간주되며 tight fold, slaty cleavage, 개방내지 폐쇄습곡을 형성시킨 두번째 단계, 넓은 개방습곡 및



암쇄작용을 수반한 세번째 단계로 그 강도는 점차 약화되었을 것으로 생각된다.

함우라늄암층의 구조규제 : 옥천대에서 우라늄을 함유하고 있는 지층은 함탄이질암층으로서 전술된 바와 같이 조사자에 따라 지층명은 다르나 구룡산층, 서창리층 및 창리층들이 이에 해당된다. 대개 함탄층은 가장 강력했던 F₁ 등사습곡에 의해서 여러차례 반복하였으며 axial plane이 사교차 되면서도 axial trace가 거의 동일방향인 F₂ 습곡에 의해서 지역적으로 동일층을 더욱 반복시켰다.

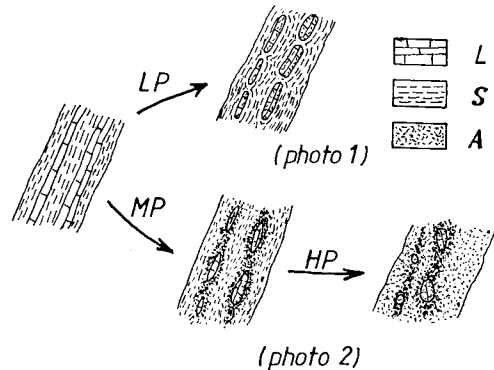
대전-보은 지역에서 함탄대는 數條가 반복되고 그 연속성은 지속적이지 않다. 함탄대가 여러번 반복된 다음 일차적으로는 습곡작용에 크게 지배된 것이나 특히 F₁ 습곡이 가장 큰 영향을 주었고 이에 F₂ 습곡이 가세된다. 함탄대의 팽창현상도 습곡작용에 크게 지배를 받아 습곡의 hinge zone에서 부광화를, 익(limb)부에서는 薄化나지 斷切 현상이 일어났는데 이런 것은 F₁보다 F₂에 더 큰 영향을 입었다고 할 수 있다.

함탄대의 중적인 단축현상은 일차적으로 퇴적의 側方 변화에 연유되는 경우로 간과할 수는 없겠으나 원래 2~3개의 함탄대가 협재하는 것이 일반적이다. F₁ 습곡과 F₂ 습곡은 거의 같은 axial trace인 것 같으나 곳에 따라서는 이것 역시 상호 교차하는 경우도 간혹 관찰된다.

또 이와 같은 함탄대는 단층구조의 영향을 받아 그 반복소멸을 수반하였다. 특히 함탄대는 물리적 성질이 다른 사질암이나 이질암에 비해 연약한데 기인하여 심한 파쇄현상을 받았다. 또한 단층작용은 이 지역 변형작용중 세번째 단계 즉 가장 마지막 단계에서 현저히 일어난 것이 많아 야외에서 이 단계에 일어난 단층의 인지는 여러차례 중복해서 변위가 일어난 구조대에서 그 확인이 쉽다고 이해할 수 있다.

**방사능 이상대**

옥천층군내에서 방사능 이상대를 알기 위하여 충북 중원군 利柳面에서 충남 금산군 진산면에 이르기까지 분포하고 있는 창리층(또는 구룡산층)을 중심으로 하



**Fig. 5** Metamorphic processes of the calcareous beds intercalated in black slates.

L: limestone, S: slate, A: amphibolite

여 이의 주향을 횡단하는 방향으로 여러 줄을 따라 방사능측정 및 지질단면조사를 실시하였다.

방사능측정에 사용한 기기는 gamma ray scintillometer(Geometric사제, Model GRS-101, 결정 1.5''×15'')이며 옥천층군에서 130~150cps는 background이고 이상대는 이의 2배인 300cps 이상을 보였고 그중에서도 1,200cps 이상인 부분은 농축대로 보았다.

그 결과 저탄질 흑색점판암, 흑연질점판암에서 주요 이상대가 나타났다. 이에 속하는 이상대는 충주지구에서 탄용리-창산리 이상대, 괴산-용유리 지구에서 덕평 이상대, 함백산이상대, 귀만리이상대; 미원-보은 지구에서 계월리 이상대; 어은-적음리 이상대, 용사리 이상대, 조곡리 이상대, 분전리 이상대, 사탄리 이상대; 대전-금산-논산지구에서 삼괴 이상대, 소룡이상대, 추부 이상대, 목소리 이상대, 수영목산리 이상대, 수락리 이상대이다. 이들 중 삼괴 이상대는 흑연질점판암이 부근에 관입한 화성암의 관입을 받아 호온펠스화된 부분이다(그림 7).

**함우라늄 암층의 암석화석**

각 암층의 암석기재 : 본 연구 대상지역중에서 괴산 지역, 미원지역, 회북-회남지역 및 대덕-금산지역의 함우라늄암층 및 이와 관련된 암석명은 지역에 따라

**표 5** 각 암상에 대한 지역별 지층명 비교.

	괴산지역	미원지역	회북-회남지역	대덕-금산지역
석회암	화전리층	화전리층	창리층(일부)	마전리층, 창리층
규질건운모편암	운교리층	운교리층	문주리층(일부)	창리층(일부)
천매질암	문주리층	문주리층	문주리층(일부)	창리층(대전도폭) 문주리층(금산도폭)
함우라늄흑색슬레이트	구룡산층	구룡산층	창리층, 국사봉층	창리층



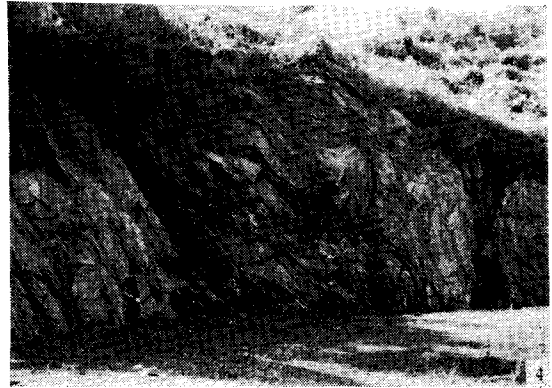
**Photo 1** Boudinage structure in the alternation of black slate and limestone beds having been slightly metamorphosed into amphibolite along the boundary, near Manmaru village, Hoenam.



**Photo 3** Folded quartz veins in black slate of Kuryongsan formation, near Chogokri village, Hoenam.



**Photo 2** Metasomatic alteration of limestone beds into amphibolite facies, near Manmaru village, Hoenam.



**Photo 4** Intricated folding in carbonaceous black slate of Kuryongsan formation near Nam-daemoonri village, Hoenam.

달리 붙이고 있다. 그러나 함우라늪부존지층과 관련된 암석들은 지역에 관계없이 단순히 암상별로 지층을 구분하여 기재함으로써 함우라늪암층의 특성을 밝히고자 한다.

대상지역에서 함우라늪암층은 공통적으로 흑색 슬레이트층으로 밝혀지며 이에 밀접히 관련되는 지층들의 암상은 천매절암, 규질건운모편암 및 석회암을 들 수 있다. 각 지역별 지층명을 암상별로 비교하면 표 5와 같으며 그들의 분포는 그림 1에서 볼 수 있다.

석회암: 본암의 분포는 괴산지역에서는 지질도상에서 규질건운모편암내에 협층으로 나타나며 미원지역에서는 그의 북서부에서 흑색점판암과 접하고 유백색 석

회암으로 잘 노출된다. 한편, 회북-회남지역에서는 북서쪽에서 흑색 점판암층내에서 암회색 석회암의 협층이 수매 반복되어 분포하며, 대덕-금산지역에서는 산내면 상소리-하소리, 먹치-타탕골에서 암회색 석회암으로, 용진리 일대에서는 암회색 및 유백색 석회암으로 넓게 분포한다. 이들 석회암층은 저지에서 잘 노출되고 함우라늪 흑색 점판암과 함께 대규모의 구조운동으로 습곡 및 단층에 의해 점판암내에 협층으로 반복출현함을 보아 본 석회암층과 흑색 점판암은 우라늪광상의 구조 규제를 파악함에 중요한 것이다. 석회암내에 흑색슬레이트가 협제되는 경우는 비교적 드물고 또한 특이한 양상을 띤다. 보은군 회남면 만마루 부락부

Table 2 Mineral composition of rock units from Ogcheon zone.

rock mineral	phyllitic rock	arenaceous rock		black slaty rock			
		ser. sch.	hornf.	blk sl.	hornf.	coaly sh.	coal
quartz	卍	卍	卍	卍	卄	卄	卄
sericite	卍	卍	卄	卍	卄	卄	卄
biotite	卍	卍	卍	卄	卍	—	—
chlorite	卄	卄	—	卄	卍	—	—
tremolite	—	—	—	—	—	卍	—
hornblende	—	—	卍	—	卍	—	—
microcline	—	—	—	—	卄	—	—
clinozoisite	—	—	卍	—	卍	—	—
cordierite	卄	—	—	—	卄	—	—
apatite	+	+	+	+	卄	卄	—
tourmaline	+	+	+	+	卄	卄	—
sphene	—	—	+	—	—	+	—
zircon	+	+	+	+	卄	+	—
magnetite	+	+	+	+	+	+	—
hematite	—	—	+	—	+	+	卄
ilmenite	+	+	+	+	+	+	+
pyrite	+	+	+	+	+	+	+
chalcopyrite	+	+	+	+	+	+	+
clay	—	—	—	+	—	卄	卄
U-mineral	—	—	—	—	卄	卄	卄
V-mineral	—	—	—	—	—	卄	卄
Ba-mineral	—	—	—	—	—	卄	卄
coal(graphite)	—	—	—	卄	—	卄	卍
ave. radioactivity(cps)	120~130	130~150		170~190	190~300	200~600*	600

卍 : very much, 卍 : much, 卄 : some, + : little, — : absent,  
* : partly 2200~2400cps.

근에서 보는 석회암과 점판암과의 호층대에서는 그림 7에서와 같이 흑색슬레이트층내에 협재된 석회암 박층이 지각변동에 의한 횡압력으로 변형 및 교대작용을 받아 석회암의 연변이 각섬석화되기도 하고(사진 1), 한편 흑색슬레이트가 치밀해지면서 석회암으로 부더의 Ca의 공급으로 석회암 외각쪽으로 각섬암화되는 현상(사진 2)을 관찰할 수 있다(그림 5).

한편 이미 관입되어 있던 맥석영도 크게 변형을 받아 렌즈모양등을 형성하며(사진 3,4) 그 슬레이트층내에 함유되었던 실리카는 변성분화작용(metamorphic differentiation)에 의해 분리(segregation)되어 층리를 따라 우백질 부분으로 배열되어 있다. 석회암층은 협재되어 있는 흑색슬레이트층과의 접촉부를 따라 계속적인 구조운동을 받으면서 미끄러져 많은 주향단층면을 나타낸다.

이상의 사실들은 모두 석회암층이 함우라늄층과 함

계 구조운동을 받아 크게 변형되었다는 사실을 가리킨다.

구성광물은 세립내지 미립의 방해석, 석영, 견운모, 및 지역에 따라 투각섬석의 미경이 발달하며 흑색슬레이트가 협재된 부분은 견운모, 흑운모, 석영 및 탄질물로 구성되어 있다. 석회암은 석영, 각섬석, 흑운모, 방해석, 스펀, 저어콘 및 불투명광물로 변성되어 각섬암화되었다.

광역변성작용에 의하여 석회암은 완전재결정되어 아래와 같이 광물 조합을 가짐으로써 녹색편암상의 변성상을 나타낸다.

방해석—석영—견운모

방해석—석영—투각섬석

이들 석회암이 화성암의 관입을 받은 부분은 대덕하소리지역, 마전리 지역 등으로 이에서는 접촉변성작용을 받아 녹염석-각섬암상을 보인다.

방해석—투각섬석—석영  
 투각섬석—클리노조이사이트—석영—스펜  
 투휘석—방해석—스펜—미사장석

한편 흑색슬레이트내에 협재된 석회암은 지역에 따라 교대변성작용을 받아 각섬암상으로 변성되었다.

각섬석—견운모—방해석—석영—스펜—저어콘  
 각섬석—흑운모—방해석—석영—스펜  
 각섬석—양기석—방해석—석영—저어콘

규질 견운모 편암 : 본암은 괴산지역 덕평리-거봉리 단층 서북쪽에 있는 흑색슬레이트층 서측에 소규모로 나타난다. 회북-회남지역에서는 과거 문주리층으로 보아 왔던 송평리, 신평리 일대의 천매 암질암이 서측에 광범위하게 노출되었고 국사봉 측에서는 조곡리 함감암(含橄礫岩) 노출현무암 주위에서 넓게 호른펠스화되어 각섬석류의 점문(點紋)이 발달되어 있다. 또한 본암은 대덕-금산지역에서는 산내면 일대의 흑색 슬레이트층내에 협재되는데 주변의 화성암류와의 접촉부는 호른펠스화 되어 있고 역시 각섬석 점문이 대상으로 발달하여 나타난다. 하소리 광화대는 이와 유사한 호른펠스 암질내에서 형성되었다.

구성암석은 회색 내지 암회색의 규질 견운모편암과 이의 호른펠스이나 여기서는 규질 견운모 편암이라고 통칭한다.

주요 구성광물은 규질 견운모편암의 경우는, 석영, 견운모, 흑운모이고 소량의 인회석, 전기석, 저어콘, 녹니석 및 불투명광물로 되어있다. 석영의 함량이 특히 높고 견운모의 함량은 상대적으로 낮다(표 2). 호른펠스의 경우는 주로 석영, 미사장석, 각섬석, 흑운모, 인회석 외에 스펀, 저어콘 및 불투명광물로 구성된다. 특히 각섬석은 적갈색의 다색성이 현저하며 결정의 가장자리는 2차적인 용액의 주입으로 치환되어 석영의 세립이 모자익상으로 형성되어 있다(그림 6).

본암석은 광역변성작용에 의해 완전재결정 되어 아래의 광물조합을 갖는 녹색편암상을 보인다.

석영—견운모—녹니석

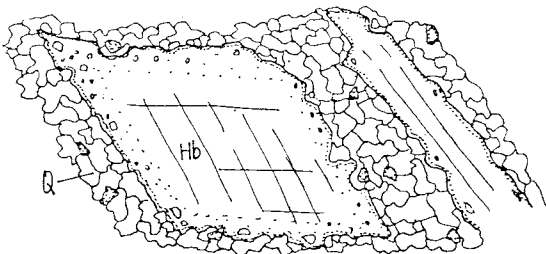


Fig. 6 Replacement feature of hornblende(Hb) by quartz(Q).

석영—견운모—흑운모

또한, 국부적으로 형성된 호른펠스는 다음과 같이 녹염석-각섬암상을 나타낸다.

석영—미사장석—흑운모—양기석  
 석영—미사장석—각섬석—인회석

천매암질암 : 본암은 괴산지역에서는 덕평리-거봉리 단층 서북부에 주로 N30°~40°E 방향으로 능선을 따라 발달하고, 단층동남부에는 거의 NS 방향으로 발달하는데 이는 함우라능 흑색슬레이트층과 더불어 구조운동을 받아 습곡축을 따라 나타난다. 미원지역에서는 귀만리와 이식리에서 흑색 슬레이트층 사이에 2매가 협재하고 있으며 그 주향은 N45°E이다.

회북-회남지역에서도 크게 2매로 나타나는데, 북서쪽은 먹치고개-염치재-샘봉산을 있는 능선을 따라 발달하며, 동남쪽에서는 규질 견운모편암(소위 sandy rock)의 가장자리를 따라 발달된다. 이들의 양측에는 흑색 슬레이트층이 발달한다.

대덕-금산지역에서는 괴산지역과 마찬가지로 습곡에 의하여 흑색 슬레이트가 습곡축의 양측으로 발달하며, 조사지역에서 총 5매가 반복되어 노출된다.

구성암석으로는 kink band가 뚜렷한 녹회색의 천매암과 암회색의 천매암질 슬레이트를 들 수 있다. 이들은 광역 변성작용에 의해서 완전히 재결정 되어 있으며, 국부적으로 화성암체 부근에서 점문상을 보인다. 점문은 흑운모, 녹니석 및 근칭석(cordierite)으로 구성 되어 있다.

이의 주요 구성광물은 흑운모, 견운모, 석영, 녹니석이며, 소량의 인회석, 전기석, 저어콘 및 불투명광물이다. 불투명광물은 전체의 3% 미만으로 자철석, 티탄철석 및 황철석으로 되어 있으며 지역에 따라 슬레이트질 암석으로 소량의 흑연화된 탄질물이 포함되기도 하나, 전반적으로는 탄질물이 거의 포함되지 않는 것이 특징이다. 각 광물의 함량관계는 표 2에서 볼 수 있다. 본암도 광역변성작용에 의해서 다음 광물조합으로 구성되었고 녹색편암상을 나타낸다.

견운모—녹니석—석영

견운모—흑운모—석영

국부적으로 열변성을 받아 점문천매질암으로 변성되어 녹염석-각섬암상을 보인다.

흑운모—견운모—녹니석—석영

녹니석—견운모—흑운모—석영

근칭석—견운모—흑운모—석영—녹니석

함우라능 흑색 슬레이트 : 본암의 본포는 그림 1에서 보여주는 바와 같이, 괴산지역에서는 흑석리와 덕평리를 잇는 N40°~40°E 방향과 덕평리-거봉리를 잇는

N5°~10°E 방향으로 나타나며, 미원지역에서는 청천면 귀만리 지역과 사면리, 이석리-적음리를 잇는 지역에서는 N45°E로 발달되어 있다. 보은지역에서는 간척리-조곡리 및 증암리-남대문교에 이르는 지역에 해당된다.

주요 구성암석은 흑색슬레이트, 암회색 괴상 슬레이트(부분적으로 호운펠스질), 사질 탄질슬레이트, 흑연질 슬레이트, 탄질 셰일 및 탄층(coal seam)을 들 수 있으며, 지역에 따라 이질슬레이트와 사질 슬레이트는 호층 또는 점이적 관계를 이루기도 한다. 전반적으로 규질건운모 편암에 비해 암흑색을 띠며 광역변성작용에 의해 초기밀집 석영, 운모류 및 점토광물로 재결정되었고 슬레이트 클리베이지가 발달되어 판상으로 쉽게 쪼개진다. 국부적으로 점문상 흑색슬레이트인 부분도 있다.

**함우라늄 암층의 구성광물** : 함우라늄 암층의 대표적인 암석의 구성광물은 다음과 같다(표 2 참조).

흑색슬레이트 : 주로 견운모, 석영, 투각섬석, 탄질물(흑연화됨)로 이루어져 있으며, 소량의 녹니석, 인회석, 전기석, 저어콘 및 불투명 광물이 함유되어 있다. 괴상인 부분은 석영의 함량이 견운모에 비해 상대적으로 많아 슬레이트 클리베이지의 발달이 미약하다. 탄질물의 함량은 보통 10~20%로 변성작용으로 탄질물의 배열이 층리와 약간 어긋나게 밀집분포 한다. 부분에 따라 인회석이나 전기석이 포함되어 있는데 그 퇴적환경에 따라 농집되어 나타난다. 점문상 슬레이트인 경우의 점문은 주로 흑운모, 녹니석, 근청석으로 이루어져 있다.

탄질셰일 : 흑색 슬레이트와 구성이 거의 동일하나, 변성정도가 낮아 점토 및 운모류의 광물감정이 매우 어렵다. 탄질물의 함량은 흑색슬레이트에 비해서 좀더 많아 20~30%가 함유되며, 층리와 동일한 방향으로 고르게 배열되어 있다.

탄층 : 주로 탄질물과 점토 광물로 구성되며, 2차적으로 주입된 석영맥과 황철석, 자철석 외에 V 및 Ba 광물이 석영세맥주위의 탄질물 부위에 포함되어 있다. 현미경 관찰에 의하면, 석영세맥의 분포가 빈번한 부분은 탄질물이 크게 변성되어 국부적으로 이동된 양상을 보여 주며, 곳에 따라 V 및 Ba 광물세맥이 망상으로 분포된다.

본층은 전술한 슬레이트나 천매암질암(약 1% 탄소를 함유)보다 특히 높은 탄질물과 황화물질을 함유한다. 즉 흑색 슬레이트는 탄질물 3~15% 정도, 황화광물 1~3% 정도인데 대해서, 탄층부분은 거의 60~70%가 탄질물로 구성되어 있다. 이들 탄질물과 황화광물

은 극히 미립으로 산재되거나 집적 형태로 나타나는데 그 함량이 높을수록 암색이 검다. 여기의 황화광물은 퇴적기원의 변질물로 볼 수 있다.

흑색 슬레이트에서는 특징적으로 다량의 황철석과 전기석을 함유하면서 적철석이 없는 것으로 보아 퇴적지가 중성 내지 약 알칼리성 퇴적환경으로 추정된다.

야외조사에 의하면 흑색슬레이트층이 구조운동을 받을 때 탄질셰일 및 탄층은 비교적 약대로서 쉽게 미끄러져 두꺼운 탄층대가 형성되어 있다(사진 4). 따라서 현재의 함우라늄탄층은 구조운동에 의해 원래의 퇴적장소로부터 이동된 것으로 해석된다.

광역변성작용에 의해서 점토질층은 전반적으로 녹색 편암상을 보이며 이들의 광물조합은 다음과 같다.

견운모-석영-점토광물-(탄질물)

견운모-석영-녹니석-점토광물-(탄질물)

견운모-석영-흑운모-점토광물-(탄질물)

탄질물(흑연)-투각섬석-석영

탄질물(흑연)-투각섬석-전기석-석영

국부적으로 화성암체의 관입을 받은 부분은 다음 광물조합으로 녹염석-각섬암상을 나타낸다.

흑운모-녹니석-견운모-석영

투각섬석-흑운모-석류석-견운모-석영

투회석-석류석-흑운모-녹니석-견운모-석영

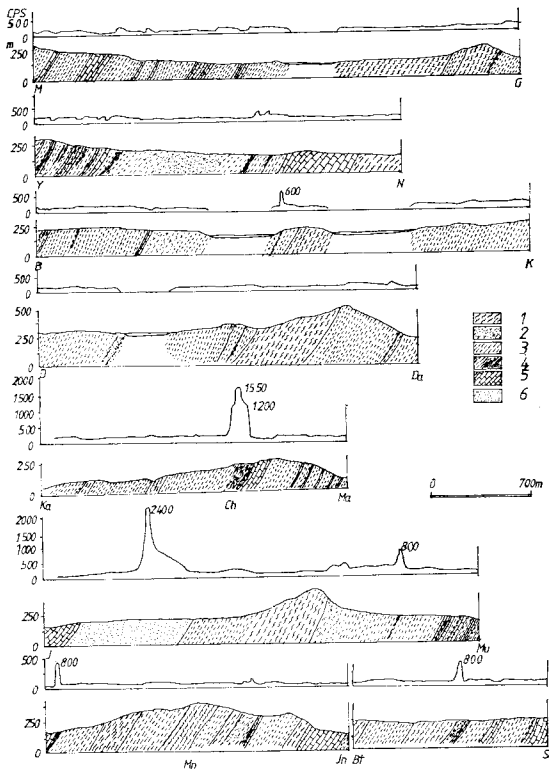
각섬석-흑운모-석영-견운모

각섬석-흑운모-스펜-석영

**암상과 방사능** : 연구 대상지역에 대해서 야외에서 선정한 노두를 따라 지질단면도를 작성하는 동시에 방사능 측정을 실시한 결과, 방사능 치는 지형에 관계없이 암상에 따라 변화하는 규칙성을 보임을 알 수 있다.

Scintillation counter에 의한 평균 방사능치의 범위는 암상별로 다음과 같다. 화강암 : 50~60cps, 석회암 : 80~90cps, 견운모편암 및 천매암질암 : 110~140cps, 흑색 슬레이트 : 150~200cps, 탄질 슬레이트 및 탄층 : 200~2900cps

이들 야외방사능 측정치를 표 2에서의 U₃O₈ 함량과 비교하면, 견운모편암 내지 천매암질암은 140cps로서 U₃O₈의 함량이 5ppm이하로서 거의 무시된 정도이다. 그러나 150~200cps인 흑색 슬레이트는 20~40ppm 정도로 역시 낮으며, 탄질물을 함유하는 슬레이트에서는 국부적으로 방사능 측정치가 2900cps까지 높게 나타나 U₃O₈ 800ppm까지 포함된다. 이러한 사실은 탄질물이 우리암을 비롯한 방사능원소 함유와 밀접히 관련된 것임을 암시한다. 한편, 마천리 북방 절골부근의 견운모 편암 내지 괴상슬레이트질 암석의 열변성산물인 호운펠스에서는 2200~2400cps의 방사능치를 나타내고, 이



**Fig. 7** Cross sections of lithology and radioactive values of the major uranium bearing fields in SW Ogcheon zone.

1: Phyllite, 2: Sericite schist, 3: Black slate, 4: Coaly black slate, 5: Limestone, 6: Hornfels: M: Mokchi, G: Gönchönri, Y: Yömchijae, N: Nandaemunkyo, B: Bongwhangri, K: Kiltang, D: Daeanri, Da: Darakgol, Ka: Kamokjông, Ch: Chubu tunnel, Ma: Majönri, J: Jölgol, Mu: Maeumdong, Mn: Maninsan: Jn: Jindori, Bt: Batangkol, S: Sinchon

의 분석결과  $U_3O_8$ 은 872.6ppm이 함유되어 있는 것으로 나타난다.

미원지역, 회북-회남지역, 대덕-금산지역에서 실시한 것 중에서 8조의 지질단면 및 방사능치(cps단위)를 함께 표시하면 그림 7과 같다.

그림 7에서 절골지역을 제외하면, 이상대는 모두 탄질물을 포함하는 슬레이트층에 형성되어 있다. 그림 7에서 주요이상대는 백그라운드(background)에 비해 월등히 높은치 600cps 이상인 부분에 해당한다. 한편 지표에서 200~220cps 정도인 경우라도 이지역이 탄질물을 포함하면, 지하굴진을 할 때는 훨씬 높은 방사능치

를 보일것이 예상된다. 예를들면 도장골지역과 목소리 지역의 지표방사능 측정치는 200~220cps 정도인데, 시추 및 항도굴진에 의한 시료는 800~1200cps의 높은 값을 나타낸다. 이러한 점을 고려하면 회인-건천리 지역지표에서 200~220cps인 곳도 함탄질물층은 이상대로 예상할 수 있다.

그림 7를 참조하여 본 연구 대상지역에 형성된 함우라늄 이상의 암상별 분포상태는 다음과 같다.

대부분의 이상대는 함탄흑색슬레이트 부분이며, 천매암질암의 남동측 경계부에 인접하여 위치하거나 석회암의 북서측에 인접한 위치에서 연속성을 띄면서 발달되어 있다. 이같은 경향은 덕평광화대, 보은, 미원간 광화대, 보은-회남광화대를 거쳐 소룡광화대까지 계속 나타나며, 추부광화대에서 목소리광화대에 이르는 부분, 기타 회인-회남지역, 마천리에서와 덕치에서 나타난다. 이러한 분포의 원인은 쉽게 해석되지 않으나, 다음과 같은 추리를 가능케 한다. 즉 본역에서 천매암질암과 석회암은 일반적으로 우라늄을 함유하지 않는 층으로서 인접하고 있는 함우라늄 흑색 슬레이트층과 함께 구조운동을 받을 때 암질의 변성과 더불어 습곡 또는 단층에 의해 우라늄성분이 흑색 슬레이트층내부에서 이차적으로 이동하게 되고 이 때 천매암질층이나 석회암이 개암(cap rock) 혹은 저지암(shelf rock inclined) 역할을 하여(Kazumi, D., et. al., 1975) 현재의 부분에 우라늄 저장소를 형성시켰다고 해석된다.

그러나, 이러한 암질과 구조적 양상과는 달리, 삼괴 광화대 및 그 연장부인 절골지역에서는, 화성암체의 관입을 받은 슬레이트가 호온펠스화 되었고 동시에 이 연변을 따라 광화대가 대상으로 발달되어 있다. 호온펠스는 건운모편암 내지 괴상의 슬레이트질암으로부터의 열변성산물이다. 이 경우 본 광화대내의 우라늄 성분의 원천은 화성암체에서 기원한 것인지 그렇지 않은 것인지를 알 수 없다. 그것은 본역의 화성암의 방사능 측정치가 낮기 때문이다. 여기에서 이 문제에 대한 몇 가지의 가능성을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 호온펠스의 원암은 퇴적당시 유기물과 더불어 혹은 유기물이 적어도 우라늄 성분을 함유하고 있었으며, 후에 열변성을 받아 유기물은 소멸되고 우라늄이 이동되어 광화대를 형성하였다.

둘째, 원암으로 예상되는 건운모편암은 다른 지역에서와 마찬가지로 우라늄성분을 함유하지 않고 있었다. 그러나 흑색슬레이트와 인접하고 있었으므로 구조운동시 습곡 또는 단층이 두 암층 인접부에 형성되면서, 함우라늄 흑색슬레이트로부터 우라늄성분이 탄층과 같은

약대로 이동되고, 그후에 열변성으로 이차적 부화가 일어났다.

셋째, 열변성 이전에 구조운동을 받았으나, 그에 따른 이동보다는 오히려 후기 열변성에서 우라늄성분이 현재의 위치에 이동되어 광화대를 형성하였다.

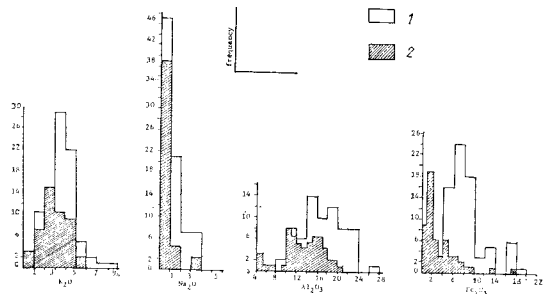
**육천대 함우라늄 암층의 화학성분**

본 연구에서 조사한 함우라늄층으로 추부, 목소리, 회북, 회남, 지봉산, 만인산, 절골 지구에서 채취된 흑색슬레이트, 탄질흑색슬레이트, 건운모 편암, 호온펠스 및 석회규산염암에서 채취한 12개 시료에 대해서는 주성분을 분석하였고(표 3) 이들과 그외에 지봉산, 추부, 보은, 괴산에서 추가로 채취한 사질 탄질 슬레이트, 탄질흑색슬레이트를 합한 33개의 시료에 대해서는 미량성분을 분석하였다(표 4). 그 외에 주성분 분석치 자료로서 과거 동력자원연구소에서 발표한 충주 서남부지역 우라늄 광상 조사연구(1982)와 미원 동북부지역 우라늄 광상조사연구(1983)의 분석자료를 참고하였다. 이들은 각각 28개와 8개로서 전자에서는 대간치 탄용리 흑색슬레이트 8개, 사질 천매암 4개, 보은-대전의 지표 및 시추자료 15개 및 보은 탄질세일 1개이고, 후자에서는 미원 동북부 흑색슬레이트 8개이다. 그중 본연구 시료의 미량성분의 분석치는 표 4와 같다. 또한 미량성분치 자료로서 대전 동남부 지역 우라늄 광상 조사연구(1980), 충남 금산지역 우라늄 광상 시추조사 연구(1980), 육천계 우라늄 광상조사연구(1981), 충주 서남부지역 우라늄 광상 조사연구(1982) 및 미원 동북부 지역 우라늄 광상조사연구(1983)를 참고 하였으며 이들 자료를 이용하여 이 원소들 상호간의 상관관계(r)는 computer program(박중권, 1983) 처

리에 의해서 계산되었다. 각 시료의 주성분 및 미량성분에 관해서 기술하면 다음과 같다.

함우라늄 슬레이트 및 기타 암석의 주성분: 상기 시료 48개에 대한 주요 주성분 산화물의 함량 범위는 다음과 같다. SiO₂: 25.52~85.45%, 평균 58.4%로서 세계 슬레이트 평균치 58.10%(Clarke, 1924)에 거의 일치한다. 이에 대해서 Al₂O₃는 4.12~20.79%로 평균 12.71%이며 세계의 세일 평균치인 15.40%보다 2.69%나 낮으며 Fe₂O₃는 0.30~17.60%로, 평균 1.44%로서 세계의 세일평균 4.04%보다 2.6%가 낮고, CaO+MgO는 0.85~10.09%로, 평균 2.86%로 세계 세일의 평균 5.55%보다 2.69%가 낮다.

K₂O는 0.26~5.42%, 평균 2.81%이고 세계의 세일의 평균 3.24% 보다 0.4% 낮고 Na₂O는 0.02~8.76%, 평균 1.14%로 세계의 세일의 평균 1.3%보다 0.16%가 낮다. K₂O와 Na₂O와의 대소관계는 일반적 경향과



**Fig. 8.** Frequency distributions of four major compositions for Ogcheon zone black slate and Clark's average slate and shale. 1: Paleozoic slates(Clark's average shale, 1924), 2: Ogcheon zone black slates

**Table 3** Chemical analyses of black slates and limestone for major elements (wt. %).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O (-)	H ₂ O (+)	CO ₂	SO ₃	Rock Name
14-03	66.88	0.075	1.53	0.58	25.73	2.31	0.174	1.09	1.26	0.06	0.10	0.50	—	—	Limestone
14-12	55.09	0.075	2.36	2.50	20.43	16.19	0.057	1.58	1.23	0.09	0.10	0.49	—	—	Limestone
13-09	70.71	0.45	13.16	5.96	1.35	2.76	0.156	2.18	2.24	0.27	0.12	1.01	—	—	Ser. Schist
11-15	71.61	0.501	14.01	1.70	1.02	1.47	0.03	5.13	3.21	0.16	0.20	1.14	—	—	gray slate
11-11	69.11	0.60	16.44	1.88	0.68	2.16	0.117	2.13	2.17	0.22	0.17	1.35	3.11	—	blk. slate
12-06	71.95	0.474	10.31	5.42	0.34	1.49	0.051	3.15	1.15	0.23	0.65	1.64	3.57	—	blk. slate
14-11	67.39	0.60	15.46	1.50	0.73	2.13	0.027	3.20	3.15	0.25	0.23	1.49	3.09	—	blk. slate
14-01	66.40	0.501	15.81	2.35	0.90	1.79	0.066	3.61	3.13	0.23	0.21	1.70	3.72	—	blk. slate
13-05	66.55	0.60	12.61	0.90	0.23	1.02	0.015	4.28	5.45	0.13	0.51	1.57	6.63	—	coaly blk. sl.
15-10	63.96	0.474	12.89	1.35	1.19	1.74	0.039	3.15	2.88	0.21	0.21	1.14	6.84	2.98	coaly blk. sl.
14-08	47.18	0.501	17.05	7.83	1.35	4.47	0.057	4.37	2.15	0.42	0.24	2.60	8.61	2.18	coaly blk. sl.
15-05	61.72	0.45	19.57	2.68	3.56	2.75	0.135	3.58	4.25	0.36	0.12	1.30	—	—	hornfels

Table 4 Chemical analyses of black slate and limestone of SW Ogcheon zone for trace elements(ppm except for S).

sample	U ₃ O ₈	V	ThO ₂	Mo	Ba	S (%)	B	Co	Cu	Zr	Ni	Pb	Cr	Zn	Sr	Ti	Mn	V.M.	CO ₂	F.C.	Cps	Rock Name	Location	G
14-03	4.7	45	13.7	5	3500.01	—	85	2	70	2	5	40	15	20	150.04	0.13	—	—	—	—	90	limestone	Dojangol	1
14-12	rd	50	13.7	5	50.01	—	20	1	90	4	4	45	20	10	90.04	0.04	—	—	—	—	30~140	limestone	Chubu	
13-09	4.7	70	29.6	5	5500.18	—	100	15	350	45	30	25	17	20	20.27	0.12	—	—	—	—	160~230	sericite schist	Mogso	
11-15	16.5	80	29.6	5	8000.15	—	100	35	100	70	70	30	30	25	45.0	30.02	—	—	—	—	—	gray slate	Hwoibug	
11-11	16.5	180	29.6	25	6000.04	50	50	5	180	10	10	30	35	20	90.36	0.09	3.11	—	—	—	170	black slate	Hwoibug	2
12-06	11.8	90	20.5	30	6007.55	50	150	85	70	180	60	25	20	20	90.28	0.04	3.57	—	—	—	180~200	black slate	Hwoinam	
14-11	11.8	100	31.9	20	4500.01	50	50	60	300	50	30	35	35	35	90.36	0.02	3.09	—	—	—	200	black slate	Chubu	
14-01	33.0	580	25.0	65	35000.04	950	95	5	400	170	35	45	45	15	180.30	0.05	3.72	—	—	—	220	black slate	Maninsan	
1-08	30	850	22	35	850	—	200	25	570	280	38	30	30	35	70.39	0.22	2.42	—	tr	150~280	hornfels. blk sl	Jibongsan pit	3	
1-28	20	750	14	150	800	—	90	4	580	200	40	40	30	30	55.0	0.24	2.61	—	tr	180~350	hornfels. blk sl	Jibongsan pit		
1-68	32	500	20	180	1000	—	150	70	510	180	35	20	20	20	150.0	0.18	2.19	—	1.61	240~480	hornfels. blk sl	Jibongsan pit		
1-46	34	300	16	250	2500	—	130	100	85	250	40	40	20	15	15.0	0.16	2.43	—	11.11	200~400	sandy coaly sl	Jibongsan pit	4	
1-78	36	850	18	350	5500	—	100	85	80	400	40	25	25	25	55.0	0.09	1.70	—	10.22	310~620	sandy coaly sl	Jibongsan pit		
1-45	24	2800	10	380	2000	—	—	80	500	280	40	20	20	25	55.0	0.12	2.80	—	12.96	400	sandy coaly sl	Chubu		
1-55	170	900	12	400	3800	—	30	95	200	400	45	45	45	20	140.0	0.11	2.07	—	34.04	430	sandy coaly sl	Chubu		
Bo-03	6	100	10	5	600	—	10	5	25	20	20	30	10	15	800.0	0.16	7.17	—	26.60	Core	calc clay sl	Boeun	5	
Bo-17	8	800	22	15	3	—	25	35	100	180	60	70	10	10	320.0	0.05	4.17	—	20.39	Core	coaly blk sl	Boeun		
Bo-19	6	250	16	20	1700	—	60	250	10	350	30	18	15	15	120.07	0.09	15.93	—	8.12	Core	coaly blk sl	Boeun		
A-13a	100	200	8	200	1200	—	150	10	70	150	95	65	50	15	700.36	0.02	2.23	—	9.58	Core	coaly blk sl	Goesan		
A-13b	270	250	8	250	1800	—	1000	20	65	150	150	30	40	10	200.27	0.04	1.93	—	11.99	Core	coaly blk sl	Goesan		
K-07	85	500	22	400	2500	—	—	10	90	100	450	35	25	80	95.0	0.13	2.58	—	6.68	Core	coaly blk sl	Mogso		
K-13	160	1000	18	100	1300	—	—	40	60	130	200	30	60	30	150.22	0.04	2.84	—	3.80	Core	coaly blk sl	Mogso		
13-05	153.3	150	25.0	70	2200.04	—	1000	180	20	250	25	75	35	15	400.36	0.01	6.63	—	—	300~820	coaly blk sl	Mogso		
15-10	129.7	1400	25.0	200	3000.0.30	—	1500	70	65	450	300	30	25	25	180.28	0.03	6.84	—	—	800	coaly blk sl	Jibongsan		
14-08	153.3	900	25.0	200	5001.02	100	50	80	200	500	35	45	45	30	13.0	0.04	8.61	—	—	920	coaly blk sl	Chubu	6	
1-98	110	750	24	150	3500	—	150	80	600	200	50	35	25	25	300.0	0.20	2.03	—	2.60	1300~2500	coaly blk sl	Jibongsan pit		
1-88	220	600	12	100	1200	—	—	150	15	500	160	70	28	30	200.0	0.21	2.76	—	1.81	2200~4300	coaly blk sl	Jibongsan pit		
1-118	36	600	8	900	9500	—	70	80	500	350	60	45	50	200.0	0.12	1.86	—	40.67	700~1400	coaly shale	Jibongsan pit			
1-127	100	350	22	200	9600	—	800	40	100	350	300	65	50	45	780.0	0.07	2.22	—	15.04	1200	coaly shale	Chubu		
1-108	190	1000	10	300	1500	—	—	10	50	200	270	45	20	35	45.0	0.14	0.03	—	39.73	1500~3000	coaly shale	Jibongsan pit		
7-40	240	1000	12	300	2300	—	—	25	150	150	580	150	60	20	200.0	0.18	0.05	—	24.32	2000~4000	coaly shale	Chubu		
1-93	800	1700	14	300	2800	—	10	75	180	300	95	90	15	10	100.16	0.03	2.18	—	19.61	2900~5800	graphite slate	Jibongsan pit	7	
15-5	872.6	1300	27.3	200	4000.0.07	—	60	70	500	400	30	40	20	20	58.0	0.10	—	—	—	—	2200~2400	hornfels	Jeolgo	8



마찬가지로  $K_2O > Na_2O$ 임을 나타낸다. 고정탄소(F.C.)는 0.09~49.08%, 평균 7.63%을 나타낸다.

퇴적환경과 관계되는  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$  및  $Fe_2O_3$ 의 함량빈도를 Clarke의 해성기원의 점토질암(고생대와 선캠브리아기 슬레이트)의 경우에 적용한 것에 대해서 옥천대 48개 시료분석 결과를 적용하여 보면 그림 8와 같다.

이 그림에서  $K_2O$ 와  $Na_2O$ 는 Clarke의 도형과 거의 일치하는 경향을 보여주는데 대해서,  $Al_2O_3$ 는 특이한 도형을 나타내며  $Fe_2O_3$ 는 도형 전체가 낮은 함량편으로 기울어진 형태를 이룬다. 이같은 경향은 다음과 같은 추리를 가능케 한다. 즉  $K_2O$ 와  $Na_2O$ 는 거의 완전히 성숙된 분해산물에 도달하였음에 대해서  $Al_2O_3$ 와  $Fe_2O_3$ 는 이같은 단계에 이르지 못한 환경에서 퇴적되었다. 대체로  $K^{+1}$ 과  $Na^{+1}$  이온의 ionic potential 이 작기 때문에 쉽게 수용액내에 이온상태로 존재할 수 있음에 비해서  $Al^{+3}$ 와  $Fe^{+3}$ 의 ionic potential 이 비교적 크기 때문에 수산화 화합물로 침전하게 되고 그것이 후에 산화물로 변화된 것으로 볼 수 있다. 그런데 옥천대에서  $Fe_2O_3$ 와  $Al_2O_3$ 의 함량이 작은 것은 수산화 화합물로서의 침전의 조건이 충분한 상태에 이르지 못하였음

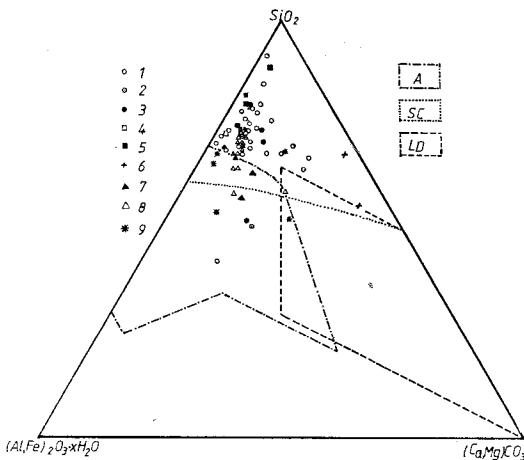
을 시사한다. 또한 후에 언급할 퇴적물의 암질에서 사질이 우세한 대에도 근거한다(Garrels et al., 1965).

탄질 흑색슬레이트의 화학성분을 알기 위하여 완전 분석된 58개 시료의 주성분 중에서  $SiO_2$ ,  $(Al, Fe)_2O_3$ ,  $XH_2O$  및  $(Ca, Mg) CO_3$ 를 3성분으로 하는 삼각도를 그린 것이 그림 9이다. 이에 의하면 옥천대 함우라늄 흑색슬레이트는 대부분이 사질퇴적물 구역에 들어가며 소수의 시료가 점토질 퇴적물 구역에 떨어진다.

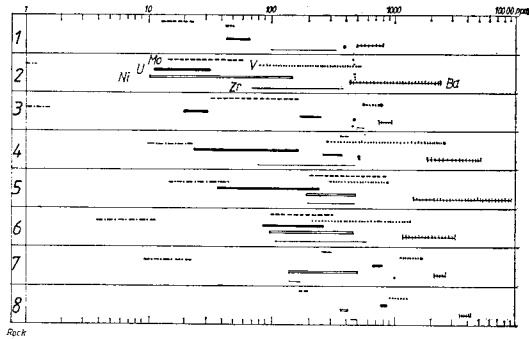
특히 주목되는 것은 함백산 지역의 흑색세일(또는 슬레이트)의 시료인 함창지역 고방산통탄질세일 1개와 보은탄광 마로탄층 3개의 시료점들은 점토질 퇴적물 구역에 떨어진다.

아직 시료 수가 적어서 일반적으로 논할수는 없으나 함백산지역형 흑색세일은 점토질 임에 대해서 충주 서남부의 흑색슬레이트는 사질퇴적물이 우세함을 가르키는 것으로 추측된다.

함우라늄 슬레이트 및 기타 암석의 미량성분: 함우라늄 층에서의 암석별 미량성분 함량관계를 알기 위하여 채취된 암석시료 중에서 33개를 선정하였으며 이를 8군으로 분류하여 각 시료에 대해서  $U_3O_8$ , V, ThO₂, Mo, Ba, S, B, Co, Cu, Zr, Ni, Pb, Cr, Zn, Sr, Ti, Mn, V.M. (volatile matter), CO₂ 및 F.C. (Fixed Carbon) 등 20성분에 대해서 미량분석을 실시하였다. 이들 분석치에 평균 방사능치를 함께 표시한 것은 표 4와 같다. 이에서 석회암과 견운모 편암내의  $U_3O_8$ , V, Mo, Ba, Ni, F.C. 등은 함량이 현저히 낮



**Fig. 9** Chemical compositions of uranium bearing and non-uranium bearing sedimentary rocks(rock boundaries are based on B. Mason; 1982). A: Argillaceous rocks, SC: Sandstones and cherts, LD: Limestones and dolomites, 1: U-blk. slates, 2: Non-U-blk. slates, 3: U-coaly. slates, 4: U-phyllite, schists, 5: Non-U phyllites, schists, 6: Limestones, 7: Blk. shales of Sadong Fm., 8: Non-U-mudstones, 9: Blk. shales from other areas



**Fig. 10** Range of the content of some minor elements in sedimentary rocks from Ogcheon zone (refer to Table 4). chain: Fixed carbone. 1: limestone; Mogso, Hwoinam, 2: Black slate; Hwoibug, Hwoinam, Chubu Maninsan 3: Poorly uraniferous hornfels, Jibongsan, 4: Sandy coaly slate, Chubu, 5: Black slate; Chubu Jibongsan pit, 6: Coaly black slate, Daeganchi, Boun, Geosan, Mokso, Jibongsan, 7: Graphite slate, Jibongsan pit, 8: Uraniferous hornfels, Jeolgol

은 반면, 흑색슬레이트 및 탄질슬레이트 등은  $U_3O_8$ , V, Mo, Ba, B, Zr, Ni, Sr, F.C. 등이 암질 또는 지역에 따라 현저하게 변한다. 본 조사에서 채취된 각종 함유우라늄암층에 대해서 측정된 미량원소의 암상별 변화를 알기 위하여 각암석을  $U_3O_8$  함량의 증가의 순으로 배열하고 특히 관련 미량원소들만의 함량범위를 표시하면 그림 10과 같다.

그림 10에서 우라늄함량은 (1) 석회암, (2) 흑색슬레이트(회복, 회남, 만인산), (3) 호온펠스(지봉산), (4) 사질탄질슬레이트, (5) 흑색슬레이트(추부지봉산), (6) 함탄흑색슬레이트, (7) 흑연질슬레이트 및 (8) 함유우라늄 호온펠스(절골)의 순으로 증가하며 이증가의 추세를 따르는 원소는 Ba, V, Ni, F.C.이고 이증가 추세와 부본에 따라 비례하지 않는 원소는 Zr과 Mo이다.

우라늄의 함량은 지봉산 굴활지의 흑연질슬레이트와 절골지역의 호온펠스에서 높게 농축되어 있는데 대하여 그외의 암석에서는 낮고 그 범위도 넓게 분산된다. F.C.는 호온펠스와 관련성이 거의 없다.

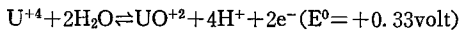
이같은 특성에 대한 해석으로 (1) 퇴적농집될 때 우라늄이 점토질 퇴적물내에서 다른 원소들보다 이동성이 크다. (2) 우라늄이 흑연질슬레이트로 특히, 호온펠스로 이동할 때는 이차적인 변성작용과 구조적 규제를 받았을 것이다. (3) 위 두 사실이 복합되었을 것 등이다. 즉 옥천대의 우라늄은 어느 한 원소와 강하게 상관성을 보이지 않는 것은 이차적인 우라늄이동의 요인들을 함께 고려케 한다.

우라늄 농축의 지구화학적 조건 : U의 지각에서의 평균함량은 1~2ppm 정도로 Sb, Bi, Hg, Ag, Au 보다는 많고 Co, Pb, Mo 보다는 적거나 비슷한 정도이다.

U의 원자가는 다양하고 이온 반지름이 약 0.97Å으로 매우 크다.

U은 지질학적인 환경에 따라 여러 산화 상태로 변할 수 있다. U의 원자가는  $U^+$ ,  $U^{++}$ ,  $U^{+3}$ ,  $U^{+4}$ ,  $U^{+5}$ ,  $U^{+6}$ 가 알려져 있는데  $U^+$ ,  $U^{++}$ 는 수용액 상태로는 알려져 있지 않으며  $U^{+3}$ 는 실험적으로 얻을 수 있으나 매우 불안정하여 자연계에서는 별로 중요하지 않다. 지질학적으로 흥미있는 것은  $U^{+4}$ 와  $U^{+6}$ 이다.

$U^{+4}$ 에서  $U^{+6}$ 로 변하는 과정은 지질학적인 환경에서는 정상적인 산화환원 전위에서 일어난다. 즉,



그래서 자연계에서는  $U^{+4}$ 와  $U^{+6}$  상태의 화합물로서 발견된다. 본 옥천대의 지층은 일반적으로 환원환경의 해성층에서  $U^{+4}$ 으로 농축되고 이 원소와 함께 V,

Mo, Cu, Ni, Ba 등이 침적된다. 또한 U을 함유한 흑색슬레이트는 대부분이 탄질물질을 포함하는 점토광물로서 U과 함께 수산화염(hydrolysate) 퇴적물에 속한다. ionic potential의 관점에서 보면 주기율표의 III, IV 족 원소들이 hydrolysate 퇴적물로 쉽게 침전되며 세일에는 이 값이 작은 K와 같은 원소들이 점토입자에 의해 쉽게 흡착이 되어 농집된다. 지구화학적 견지에서 가장 특기할 만한 hydrolysate를 포함하는 퇴적물은 흑색세일인데 이들은 특별한 환경하에서 생성된다.

이들 흑색세일이 퇴적될 수 있는 환경은 두 가지로 생각된다. 그 하나는 흑해와 같이 폐쇄된 euxinic basin 형태이고 다른 하나는 홍해와 같이 트여있으나 비교적 좁고 긴 바다의 심해성 구역이다.

전자의 경우는 산소가 아주 결핍된 곳으로 수심 200m보다 깊은 곳은 산소가 희박하고 염도가 높은 부분이고, 이보다 얇은 부분은 산소의 함량이 높고 반함반담수로써 염도가 낮다. 또한 200m 이상의 깊이는 물의 순환이 느려서 오랫동안 환원성으로 유독한 환경이 계속 유지된다.

후자환경의 경우, 대륙붕에서는 산소가 풍부한 산소대를 이루나 대륙사면의 구역에 오면 산소의 용해량이

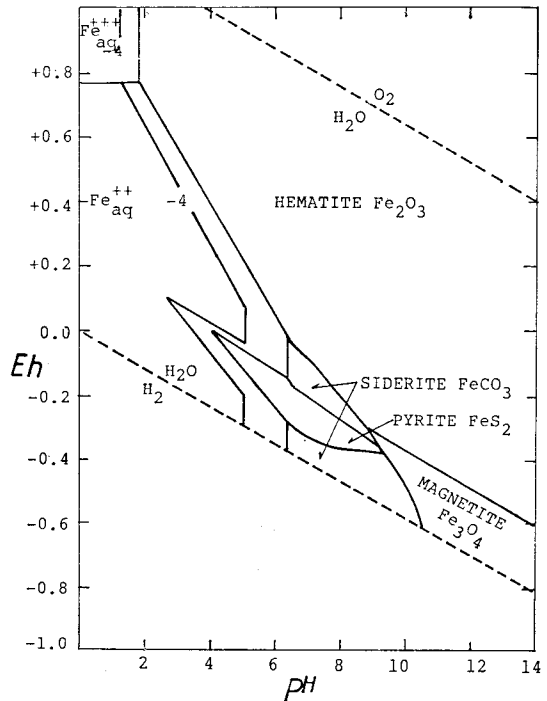


Fig. 11 Stability relations of iron oxides, sulfides and carbonate in water at 25°C and 1 atm total pressure(Garrels et al., 1965).

표 5 해저지형에 따른 퇴적물의 화학성.

해저지형	화 학 성	pH	Eh
대 륙 봉	O ₂	7.2~8.5	+0.4~+0.05
대륙사면	CO ₂	6~7.5	+0.05~-0.2
심 해 저	H ₂ S	7.2~9	-0.2 ~-0.5

떨어지게 되고 CO₂가 많은 환원성이 되며 좀 더 낮은 심해저에서는 화학적 및 생물학적 작용에 의해서 황철석이 침전되는 구역이 된다. 이 각 부분의 pH와 Eh의 범위는 표 5와 같다.

이 표에서 환원환경을 이루는 H₂S대는 pH: 7~9, Eh: -0.2~-0.5로써 이를 그림 11과 그림 12의 Eh-pH diagram과 연관하여 생각해 볼 수 있다.

그림 11과 그림 12은 각각 1기압, 25°C에서 물과 접촉하고 있는 FeS-FeCO₃ 및 철의 산화물, U과 V화합물의 pH와 Eh와의 관계를 나타낸 것이다(Garrels et al., 1965). U₂⁺가 U⁶⁺로 산화되지 않는 환원 환경에서 침전되는 광물로는 uraninite(UO₂)와 montroseite(VOOH)가 공존하는 경우와 uraninite와 paramontroseite(V₂O₄)가 공존하는 경우가 있는데 이들은 자연계에서는 안정성이 높은 화합물을 만들 수 있으며 U은

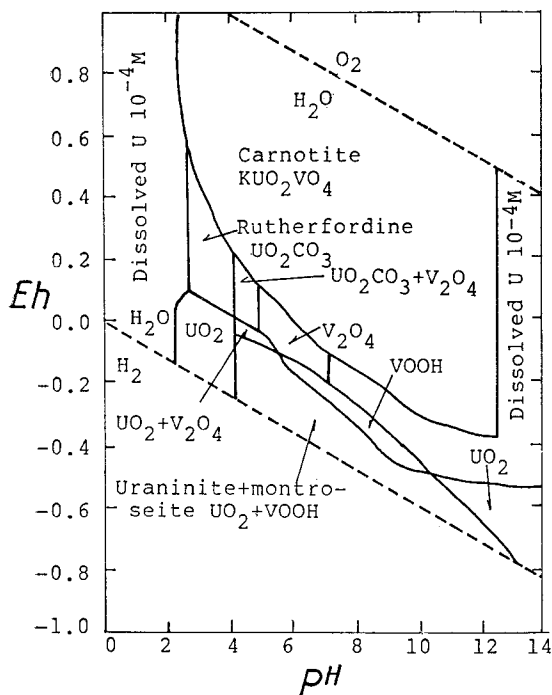


Fig. 12 Eh-pH diagram for U and V compounds at 25°C and 1 atm total pressure (Garrels et al., 1965).

+4의 낮은 원자가를 가지고 있다.

옥천대의 흑색점판암층과 그의 상하위층의 퇴적환경을 층서에 근거하여 고찰하면 다음과 같다.

함우라늄 흑색슬레이트에는 적지 않은 양의 황화철을 포함한다. 이 지층은 곳에 따라 구성암의 비율이 다소 다르지만 대체로 동일한 압상을 보이며 주요 구성암석은 흑색슬레이트, 암회색 괴상슬레이트, 사질 탄질슬레이트 등으로, 주구성광물로서 견운모, 석영, 투과섬석, 탄질물이고 소량의 녹니석, 인회석, 전기석, 저어콘 및 황화철을 수반한다. 이같은 구성은 본 지층의 퇴적이 유기물과 황화철을 침전시킬만한 환원 환경이었음을 시사하며 따라서 이 시기의 퇴적환경은 흑해형이나 홍해형일 가능성이 있다. 옥천누층군의 퇴적분지의 지형은 시대에 따라 변천되었을 것이 확실하다. 즉, 대항산규암층의 퇴적당시는 이층의 본포상태로 보아 충주-괴산-괴반령-대전-강경으로 이어지는 개방된 홍해형으로 보이나 점토질암층류(문주리층, 창리층 및 마전리층)의 퇴적 당시는 충주-보은-대전-진산에 이르고 그 보다는 서남으로는 연장되지 않는 폐쇄형 분지로 볼 수 있어 이때 형성된 함우라늄 탄질슬레이트층은 흑해형 분지의 퇴적물로 추리된다.

이같이 본다면 함우라늄 흑색슬레이트층의 퇴적분지의 물의 화학성은 pH=7, Eh=-0.3(그림 11)임으로 추리된다. 한편 이 슬레이트가 석회암층을 협재하거나 석회질 슬레이트이고 방해석과 유기물 및 황화철을 포함하는 점을 보아 pH는 7.8 이상이고 Eh는 -0.25 이하이어야 한다는 것을 알 수 있다(그림 11). 이에 대하여 하천수나 담수호의 pH는 6±이고 Eh는 +0.4이기 때문에 이 분지가 담호수성이 아님을 의미한다.

자연계의 산화바나듐 광물로써 그 존재가 가능한 것은 alaitte(V₂O₅·H₂O)와 vanoxite(2V₂O₄·V₂O₅·8H₂O)로서 옥천대 함U 흑색슬레이트 내에서 이들의 감별이 필요하다(Dana's Mineralogy, 1962).

이들 광물들은 특히 유기물질의 공존상태에서 잘 나타나며 산화가 될수록 U은 uranium 화합물로, V은 V⁴⁺의 화합물로 변하며 산화가 최대로 일어나며 이 두 원소의 산화물인 carnotite (K₂(UO₂)₂(VO₄)₂·3H₂O)로 변한다.

또한 흑색세일의 퇴적환경과 일치하는 pH와 Eh의 환원환경을 지시하는 FeS₂의 안정범위는 그림 12에서의 U-V의 경우와 거의 일치한다. 이 두 그림에서 Eh 범위는 대략 -0.1~-0.3이고 pH의 범위는 7-9 정도로 이 범위내에서는 U의 일차광물인 uraninite와 V의 일차 광물인 montroseite, 황철석 및 방해석이 공존할

수 있다.

육천대에 존재하는 U 광물로 위의 범위에 속하는 amorphous UO₂와 uraninite의 존재가 이동진에 의해 밝혀졌다(이동진, 1983). 그러나 광물의 감별은 아직 이루어지지 않고 있는데 montroseite와 paramontroseite의 존재도 가능할 것으로 보인다. 이에 대한 연구는 추후 EPMA 하에서 규명되어야 할 것이다.

이상과 같이 U이 퇴적될 수 있는 환경을 살펴보면 유기물질이 풍부하고 해저의 산소 유입이 빈약하며 H₂S가 있어야 하는 상태, 즉 대륙붕 보다는 더 깊이를 가진 좁고 긴 흑해형 퇴적환경에서 근역(특히 서북부 제천, 신태저역)에 있는 U-source로 부터 물질이 유입되어 매우 천천히 퇴적되는 지층내에 U이 농축된 것으로 추리된다.

**합백산 지구 탄질 흑색셰일**

육천대에서 이제까지 알려진 우리나라 함량이 비교적 높게 포함되어 있는 퇴적 기원의 지층은 충주 서남부 탄용리 부근에서 괴산, 덕평리, 귀만리, 창리, 조곡리 삼괴, 추부터널을 거쳐 목소리에 이르는 총연장 72km에 달하는 합탄질물 흑색슬레이트임은 앞에서 설명한 바와 같다.

그러면 육천대의 동북부에 분포하는 소위 합백산 지대에 분포하는 합탄질물 흑색셰일인 소위 사동층이나 고방산층하부에 협재하는 흑색셰일 또는 흑색슬레이트의 우리나라(또는 토리늄) 함량에 대해서는 어떠한가를 알기 위하여 이 지대의 여러 탄전에서 사동층 상부와 고방산층하부를 횡단하는 방향에서 방사능 측정을 실시하였으며 동시에 흑색셰일과 흑색사암의 시료를 채취하였다. 이 지대에서 조사된 탄전은 장성탄전, 도계탄전, 합백탄전, 영월탄전 등이며 이들의 서남연장으로 인정되는 문경탄전과 보은탄전도 이에 포함시켰다.

탄질흑색셰일의 방사능치 : 이들 탄전에서 측정된 지층의 층준과 그의 방사능치는 표 6과 같다.

이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 사동층상부 합탄층준의 방사능치는 어느 곳이나 70~110cps로 각지역의 background치와 같은 값을 나타낸다. 이는 상기 탄용리-목소리간 흑색슬레이트의 방사능치와는 대조적으로 대단히 낮은 값을 보여줄을 알 수 있다.

한편 고방산층하부에 협재되는 흑색셰일의 방사능치는 200~310cps로 얼마간의 이상치를 보이는 부분이 있다. 이는 사동층상부와 고방산층하부지층의 퇴적환경이 우리나라 지구화학에 있어 현저한 차이가 있었음을 암시한다.

탄질흑색셰일의 퇴적환경 : 육천대의 구조 해석에 있

표 6 합백산 지구 주요탄전에서서의 사동층상부 및 고방산층하부지층의 방사능치.

탄 전	지 층	암 석	방사능치 (CPS)
장 성 계 산촌	사동층상부	탄질사암	70~100
		흑색셰일	80~100
	고방산층하부	무연탄	
합 백	사동층상부	탄질사암	140~260
		회색사암	80~90
	고방산층하부	녹색사질셰일	190
도 계	사동층상부	무연탄	130~150
		탄질셰일	80~180
	고방산층하부	사암	80~240
영 월	사동층상부	셰일	120~250
		무연탄	90~100
	고방산층하부	흑색셰일	90~140
단 양	사동층상부	회색사암	50~90
		무연탄	120~150
	고방산층하부	사질셰일	110~170
문 경	사동층상부	셰일	110~180
		사암	130~140
	고방산층하부	사암	70~110
보 은	사동층상부	사암	50~110
		사질셰일	80~100
	고방산층하부	사암	90~170
보 은	사동층상부	셰일	80~150
		사암	100~160
	고방산층하부	무연탄	110~120
		사암	70~110

어 충주-봉화재-상내리-청산을 잇는 총상단층을 경계로 이의 동북부의 합탄대가 나타내는 퇴적환경을 판별하기에 필요한 자료를 얻기 위하여 사동층과 고방산층의 합탄흑색셰일에 협재하는 사암을 채취하여 우선 그중 9개의 시료에 대해서 입도 분석(grain size analysis)을 실시하였다(이에 대한 자료처리과정의 기술은 생략함).

이들의 처리 결과를 종합하면 평안계의 합탄층은 육성층의 특징이 우세하게 나타난다.

이상의 자료에 근거하여 육천대 합탄질셰일 및 사질암대의 퇴적환경은 봉화재 단층을 기준으로 그의 동북부지대와 서남지대가 서로 상이하다. 즉 전자는 호서성내지 범람원 퇴적인데 반해서 후자는 홍해형내지 흑해형의 근해성이라고 볼 수 있으며 따라서 이들은 서로 분리된 환경에서 각각 퇴적되었기 때문에 우리나라의

함량에도 큰 차이를 초래하였을 것으로 해석된다. 그러나 이 두 지대에서의 함탄흑색슬레이트층의 지질시대는 같은 것으로 본다(이대성, 1974).

탄질흑색세일의 미량분석: 함백산 지구 사동층상부 및 고방산층하부 함탄대에서 채취된 흑색세일 10개에 포함되어 있는 미량성분의 함량을 옥천대 함우라늄 흑색세일(대부분이 슬레이트임)에 포함되어 있는 미량성분의 함량과 비교점토하기 위하여 상기 시료 각각에 대해서  $U_3O_8$ ,  $V_2O_5$ , Ni, Zn, Zr, Mo, Cd, Ba,  $P_2O_5$  및 S를 분석하였다.

이 분석치에 의하면  $U_3O_8$ 는 최대 10ppm으로 대체로 5ppm 이하로서 거의  $U_3O_8$ 를 포함하고 있지 않는다. 마찬가지로 Mo과 Cd의 함량도 극히 적어 5ppm 이하이다. 이에 대해서  $V_2O_5$ 는 비교적 높아 169~300ppm으로 그 함량의 변화가 적으며 Ni은 비교적 낮아 9~40ppm, Zn은 9~139ppm이고 Zr은 158~334ppm이다. 또한 Ba은 대단히 커서 581~3002ppm을 포함하며  $P_2O_5$ 와 S는 각각 0.11~0.27%, 0.10~0.38%로 비교적 낮은 값을 보이고 있다. 이와 같은 미량성분의 함량은 옥천대 흑색세일의 함량과는 현격한 차이가 있어 우라늄 지구화학은 물론, 다른 미량원소의 농축에 있어서도 이 두 지역에 큰 차이가 있음을 시사한다.

피반령대와 함백산대의 비교

여기의 피반령대(이대성, 1977)와 함백산대와의 경계는 충주-문경간 스러스트단층대를 의미하며 이 단층대는 충북 보은군 소여리-파로-안남으로 이어진다. 이들간의 차이를 여러 측면에서 고찰하면 다음과 같다.

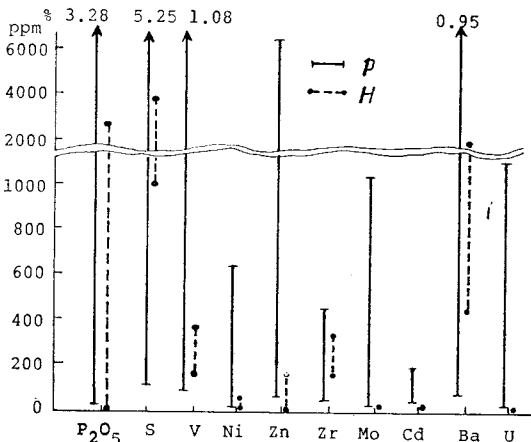


Fig. 13 Comparison of trace element contents in black shales of Pibanyong type Ogcheon zone(P) to Hambaeksan type Ogcheon zone(H).

(1) 지구화학적 고찰: 이 두 대간에 함탄흑색점토질 암에 함유된 미량성분의 분석치가 크게 차이를 그림 13에 의해서 알 수 있다. 즉 우라늄 함량은 피반령대에서는 6~880ppm임에 대하여 함백산대는 어느 곳이나 10ppm 미만으로 200ppm 정도이상인 피반령대측이 높아 함백산대는 U을 거의 포함하지 않는 상태이고, Ni, V, Zn는 각각 650ppm, 1700ppm, 6500ppm으로 피반령대가 높다. 그러나  $P_2O_5$ , S, Ba 및 Zr은 서로 대응하는 함량을 보이고 있으나 전반적으로 함백산대의 함량이 낮다.

(2) 퇴적환경 고찰: 함백산대 사암의 입도 분석결과로 보아 이는 fluvial형 퇴적환경임에 대하여 피반령대의 환경은 해양성임을 pH-Eh 자료 추정과 이에 따른 Mo 이온의 용해도의 고찰로써 알 수 있다. 즉 흑색점토질암 퇴적 당시의 이들 환경은 현저히 다르다는 것을 알 수 있다.

(3) 주성분 함량에 의한 고찰: 흑색퇴적물의 분류로 보아 함백산대의 암석은 점토질 퇴적물임에 대하여 피반령대의 암석은 사질퇴적물이다.

이상을 종합할 때 상기 경계단층대를 기준으로 피반령대와 함백산대는 지질분포 및 구조적인 관계등(엠펜블라이트의 존재)을 고려할 때 서로 분리되었던 지괴의 퇴적환경으로 해석된다. 따라서 U광화에도 현저한 차이를 가져온 것으로 볼 수 있다.

결론

이상의 연구자료에 의해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 옥천대에서 우라늄을 함유하는 지층은 소위 구룡산층(또는 창리층, 국사봉층)의 중부에 국한해서 협재하는 2개의 흑색슬레이트층이며 이는 피반령형 옥천층군에 한정한다.
2. 우라늄 광화대는 주라기에 일어난 지각변동에 의해서 여러차례 변형되어 단층의 절단과 습곡에 의한 중복구조를 보여 광화대가 단속되고 대전 부근에서는 화강암의 관입을 받기도 했으나 그 분포 한계는 충주에서 진산까지 약 90 킬로미터에 달한다.
3. 주요 방사능 이상치를 보이는 지역은 충주-매현리, 덕평리-용유리, 미원-보은, 대전-금산 지구로서 우라늄의 함량은 0.017~0.087%이며 120여개 시추조사 결과에 의하면 부광대까지의 심도는 40~160미터가 가장 많다. 이 심도는 동북부에서 작고 남서로 감에 따라 커진다.
4. 함우라늄층의 변성도는 녹색편암상이며, 부분에

따라 화성암의 관입을 받아 호은펠스화 되었다.

5. 주성분 및 미량성분 분석에 의하면 합우라늄 흑색슬레이트는 사질 내지 처-트질이며 U과 밀접히 관계되는 원소는 V, Mo, Ba, Ni, Zr, Pb, Cr, F.C. 등이다.

6. 소위 피반령형 옥천대의 퇴적물은 홍해형과 흑해형 해저 분지 환경에서 된 것으로 추론된다.

### 參 考 文 獻

- 1) 과거연구조사목록(기술순서를 따름)
1. 이대성, 이종혁, 윤상규(1956) 원자력광물자원탐사보고(I). 지질광상조사연구보고, 제 1호, p. 48-68.
2. 김종수, 황인진, 상기남(1958) 원자력광물자원탐사보고(II). 지질광상조사연구보고, 제 2호, p. 159-188.
3. 윤상규, 김종환(1958) 충청남도 공주읍 동남부일대 합우라늄 흑연 광상조사보고. 지질광상조사연구보고, 제 2호, p. 219-232.
4. 이홍규, 이경덕, 유한서(1969) 오대산지역 우라늄 광화대 지질조사보고. 지질광상조사연구보고 제 11호, p. 85-96.
5. 김선익, 정창순, 박성환, 배용찬, 임춘탁, 강양평(1970) 합우라늄 바나듐 흑색셰일과 절관암에 대한 조사연구보고. 광상조사연구보고, 제 4호, p. 232-292.
6. 김종환, 조규장, 김선익, 정현옥, 조진동(1974) 피산지역 우라늄 탐사종합보고. 지질광물조사보고 II부, 2호, p. 1-122.
7. 소철섭, 강경국(1978) 옥천계 합우라늄 변성지층의 광물학적 및 지구화학적 연구. 지질학회지, 14권 3호, p. 93-102.
8. 이민성(1978) 옥천계 합우라늄지층 주변의 관입분포하는 화강암류의 지구화학. 지질학회지, 14권 3호, p. 113-119.
9. 김종환, 김길승, 정태진(1979) 우라늄광역지질조사조사연구보고. 제 5호, p. 149-184.
10. Bong, K. Kim, C.H. Cheong S.M. Lee, H.I. Park, S.J. Kim, B.S. Park G.H. Baeg, S.H. Lee, (1980) Study of Energy Resources in Korea. 기초과학연구논총, 제 1집, p. 166-168.
11. 이민성, 전효택(1980) 옥천대 합우라늄지층층의 우라늄과 타성분과의 상관관계. 광산지질, 13권 4호, p. 241-246.
12. 박봉순, 소철섭(1980) 광물조성과 우라늄분포와의 상관관계 연구. 광산지질, 13권 4호, p. 215-227.
13. 김옥배(1980) 한국의 저질탄층에 부존되어 있는 우라늄광상의 지구화학적 탐사를 위한연구. 광산학회지, 17권 1호, p. 1-17.
14. 김옥배, 전용원(1980) 옥천계 합우라늄탄층층에 부존하는 우라늄의 성인에 관한 실험적 연구. 광산학회지, 17권 2호, p. 57-66.
15. 이상만, 박희인, 김수진, 박봉순, 이상현(1981) 피산군 덕평지역 변성퇴적암내에 배태된 우라늄광상의 성인. 지질학회지, 17권 1호, p. 53-68.
16. 이동진, 상기남(1981) 흑연질 우라늄광석의 광물학적 연구(대전, 동남, 덕평, 목소). 조사연구보고, 제 12호, p. 119~134.
17. 김종환, 김정택, 박중권, 김대업, 임현철(1980) 대전 동남부지역 우라늄광상조사연구. 동력자원연구소 : 우라늄-2, p. 5-112.
18. 구성본, 민성식, 성기성(1980) 대전 동남부지역 우라늄자원 물리탐사연구. 동력자원연구소, 우라늄-2, p. 113-134.
19. 김정택, 박중권, 김대업, 임현철(1980) 충남금산지역 우라늄광상시추조사연구. 동력자원연구소, 우라늄-1, p. 5-50.
20. 구성본, 민성식, 성기성(1980) 금산동장골지역 우라늄 자원물리탐사연구. 동력자원연구소, 우라늄-1, p. 51-75.
21. 이동진, 상기남(1981) 흑연질 우라늄광석의 광물학적연구(대전동남부, 덕평 목소지역산). 동력자원연구소 조사연구보고, 제 12호, p. 119-131.
22. 이상만, 박희인, 김수진, 박봉순, 이상현(1981) 피산군 덕평지역 변성퇴적암내에 배태된 우라늄광상의 성인. 지질학회지, 제 17권, p. 53-68.
23. 김종대, 정태진, 오천혁, 김종환(1981) 제 3기층 분포지역의 우라늄광상 조사연구. 조사연구보고, 제 12호, 동력자원연구소, p. 77-87.
24. 김종환, 권성택, 한종린(1980) 우라늄광역지질조사연구(단양탄전, 문경탄전). 우라늄-5, 자원개발연구소.
25. 구자학, 구성본, 박영수, 최종호(1981) 충남 진천지역 우라늄물리탐사연구. 동력자원연구소, 우라늄-9, p. 83-101.
26. 김정택, 박중권, 김대업, 임현철, 김종환(1981) 옥천계 우라늄광상조사연구(보은 서부지역). 동력자원연구소, 우라늄-9, p. 7-82.
27. 김정택, 박중권, 김대업, 임현철(1981) 대전동남

- 부지역 우라늄광상시추 조사연구. 동력자원연구소  
우라늄-7, p. 7-78.
28. 구자학, 민성식, 구성본, 성기성(1981) 금산 도  
장골 및 추부터널지역 방사능검층연구. 동력자원  
연구소, 우라늄-7, p. 109-133.
  29. 김종환, 박중권, 김정택, 김대업, 임현철(1982)  
충주서남부지역 우라늄 광상조사연구. 한국동력자  
원연구소 연구요보, 제13호, p. 7-44.
  30. 이동진, 상기남, 이성복(1982) 흑연질 점판암내 우  
라늄 및 조성광물에 대한 광물학적연구. 동력자원  
연구소 조사연구보고, 제13호, p. 167-181.
  31. 심성천, 김문영, 김통권, 서효준(1983) 제천시역  
항공 우라늄 이상 지역의 광역지화학 탐사연구.  
우라늄광역탐사연구, 동력자원연구소 핵연료자원  
1-08, p. 87-106.
  32. 김통권, 김문영, 심성천, 김성재(1983) 울진북부  
지역 우라늄광역지화학 탐사연구. 우라늄광역탐사  
연구, 동력자원연구소, 핵연료자원-1-08, p. 107-  
116.
  33. 김문영, 심성천, 김통권, 김성재(1983) 서벽리도  
폭 우라늄광역 지화학 탐사연구. 우라늄 광역탐사  
연구, 동력자원연구소, 핵연료자원-1-08, p. 117-  
138.
  34. 박중권, 김종환, 김정택, 김대업, 임현철(1983)  
미원 동북부지역 우라늄광상조사연구. 우라늄정밀  
조사연구, 동력자원연구소, 핵연료-2-14, p.  
7-56.
  35. 김종대, 임현철, 오천혁(1983) 제천시역 우라늄  
광상조사연구. 우라늄정밀조사연구, 동력자원연구  
소, 핵연료-2-14, p. 81-98.
  36. 이동진(1984) 옥천층군에 부존하는 우라늄광석에  
대한 광물학적 성인적연구. 서울대학교 박사학위  
논문, 75p.
- 2) 기타항의 문헌
  1. 윤석규(1984) 대전서남지대에 있어서의 우라늄광  
상에 관한 광물학적 및 지화학적 연구. 광산지질  
17권 4호, p. 289-298.
  2. 이대성(1984) 옥천계 지질시대 결정을 위한 연구.  
연세논총 11집, p. 299-323.
  3. 자원개발연구소(1976) 조사연구활동. 우라늄자원  
조사, 자원개발연구소, p. 13-17.
  4. 자원개발연구소(1978) 자사연구활동. 지하자원조  
사, 우라늄 자원조사, 자원개발연구소 연보, p.  
11-21.
  5. Bull, W.B.(1962) Relation of textural(CM)  
patterns to depositional environment of alluvial-fan  
deposits. Jour. Sed. Petrology, 32. 211-216.
  6. Bullon, A.T., et al.,(1974) Simple metric sedi-  
mentary statistics used to recognize different  
environments. sedimentology, 18. 1-21.
  7. Faure, G.,(1977) Principles of isotope geology.  
John Willey & Sons, New York, p. 464.
  8. Folk, R.L. & Ward, W.C.(1957) Brazos river  
bar: A study in the significance of grain size  
parameters. Jour. Sed Petrology. 27. 3-26.
  9. Garrels, R.M. and Christ, C.L.,(1965) Solutions,  
Minerals and Equilibria. Harper & Row. Co.
  10. Mason, B. and Moore, C.,(1982) Principles of  
Geochemistry. John Wiley & Sons.
  11. Taylor, H.P.,(1974) The application of oxygen  
and hydrogen isotope studies to problems of  
Hydrothermal alteration and ore deposition. Econ.  
Geol., v. 59, p. 843-883.
  12. Visher, G.S.(1969) Grain size distributions and  
depositional processes. Jour. Sed. Petrology, 39,  
1074-1106.