

몽골의 우라늄자원

문진주* · 박중권*

Uranium Resources of Mongolia

Kun Joo Moon* and Joong Kwon Park*

ABSTRACT: Uranium resources of Mongolia are generally confined to sediments deposited during Jurassic to Cretaceous volcanism. Territory of Mongolian uranium deposits is divided into four districts as follows; Mongol-Priargun, Gobi-Tamtsag, Hentii-Dauer, North-Mongolian. Potential uranium deposits were discovered by Airborne Gamma ray Spectrometric Survey (AGSM). One of them, Haraat deposit, which was interested to us, has been under detailed survey for exploitation by one of American companies, Concord company. The Erdes uranium mine is partly operated by about hundred Russian staffs at the open pit, while underground mining facilities such as the main hoist are almost closed. Ore minerals of the Erdes Mine are coffinite and pitchblende. Uranium content in ore ranges from 0.06% to 1%, averaging 0.2%. Ore reserves of uranium ore in the Dornod deposit including the Erdes Mine accounts 29,000 ton. It is reported that Uranium resources of Mongolia are 1,471,000 ton.

서론

몽골은 한반도의 7배에 달하는 영토를 차지한 나라로 국토의 평균고도가 해발 1,580 m 이긴하지만 대부분 평원을 이루어 독특한 지형 (steppe)으로 대고원을 이룬다 (Robert Storey 1993). 몽골의 우라늄자원은 91년 몽골 대통령이 한국 방문시 한국 정부와 공동개발 유망자원으로 소개한데 이어 동자부 장관이 직접 몽골을 방문하게됨에 따라 관심을 갖게되었다.

몽골 우라늄자원의 부존 현황을 파악하기 위해 15일간의 일정으로 현재 개발중인 광산을 직접 답사하고 그동안 조사된 몽골 전지역에 대한 우라늄 부존 상태를 제시된 자료를 통해 대략 파악하였다. 몽골 정부는 지난 92년 11월 이후 우라늄에 대한 제반 정보를 통제하면서 외국기업의 우라늄자원 개발유치를 추진하게됨에 따라 직접 개발에 참여하지 않는 조사자의 입장으로서 제한된 정보를 입수 할수 밖에 없었다. 직접 답사한 에르데스광산 이외의 우라늄 산지는 항공물리탐사에 의해 발견되어 일부 시추 탐사결과로 광량과 鑛況 그리고 그 산상이 기술되어졌으나 현지를 답사하여도 광체노두를 관찰 할 수 없는 층적층으로 피복된 초원임을 미리 파악할 수있어 한정된 조사기간을 효과적으로 보낼 수 있었다.

본 보고서에서는 직접 답사한 에르데스 광산의 제반자료를 기초로 영어를 구사하는 몽골정부 지질학자가 제시한 몽골 우

라늄자원에 대한 설명서를 통해 파악된 내용을 요약하였다. 몽골의 우라늄자원은 지금까지 조사된 내용으로 미루어 상당히 넓은 지역에 걸쳐 분포되어 있다. 한정된 지역이 일부 시추탐사만의 결과를 가지고 소개되고 있는 만큼 외국 기업이 선점하기 전에 현금과 같은 우라늄 시장의 불황기를 이용하여 공동 연구과제로 몽골 우라늄자원이 선정되어 향후 성수기를 맞이하는때 우리 국내 기업이 공동 개발에 참여할 우선권을 가질 수 있는 기회를 마련하였으면 하는 바램이 크다.

몽골의 우라늄자원

지질 개요

몽골의 우라늄광상은 화산성구조대에 관련된 내성 광상 (endogenic ore deposit)과 중생대의 고결이 덜된 사질퇴적물에 지하수에 의해 형성된 수성형 (hydrogenic type)으로 대별된다.

전자는 주로 쥐라기-백악기에 퇴적된 화산기원의 물질이 특징적으로 나타난 지층중에 배태되어 있고, 이들 지층은 화산 지구구조 (tectonical structure)를 이룬 광활한 高原盆地를 이루어 평평한 지표면은 수 천 평방킬로미터에 달한다. 본지의 지층은 선캠브리아기의 변성암들이 곳곳에서 고생대와 중생대의 분출암 또는 화강암에 의해 관입되어 나타나며 백악기초의 화산 분출물이 점토, 사암, 규질암, 탄질 셰일층등과 호응으로 1.5km 이상의 두터운 수평퇴적층을 이룬다. 우라늄 광화대는 하위 백악기와

*한국자원연구소 (Korea Institute of Geology Mining and Materials, Daejeon 365-350, Korea)

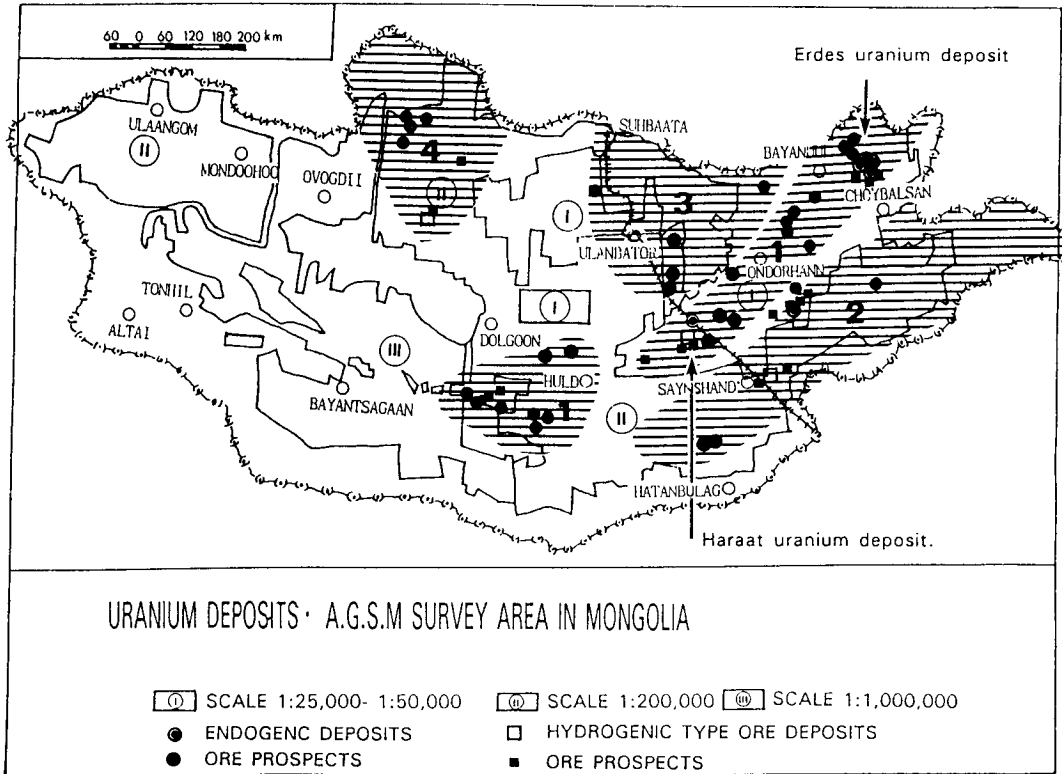


Fig. 1. Distribution of Uranium Deposits in Mongolia. I; Mongol-Priargun, II; Gobi-Tamtsag, III; Hentii-Darum, IV; Northern Mongolia.

상위 백악기 퇴적층 중에서 주로 하위 퇴적층의 상단부 층준에 국한 발달되어 있다. 후자의 수성형 광상은 고비지역을 중심으로 발달하는 중생대의 육성퇴적분지 내에 발달한다.

주요 우라늄광화대

몽골의 우라늄 자원은 구 소련인들에 의해 적극적으로 탐사된 바 있어, 우라늄의 부존은 전국토를 대상으로한 항공 감마선 탐사에 의해 발견되어졌다. 우라늄 광상의 분포는 Fig.1 에서 보이고 있듯이 대체로 4개 지역으로 분류되어 알려져 있으나, 그 중 소수의 지역만이 구체적으로 정밀 탐사를 거쳐 개발되고 있을 뿐 대부분의 광화대는 그 산상이 유사하다는 사실만이 파악되어진채 방치되어 있다 (Melink, 1988. Mironov, et al., 1992). 우라늄광상군을 대별하면 다음과 같다 (Fig.1에서 빗금과 아래와 같은 숫자로 표시함).

1. 알타이-프리아르군 (Altai-Priargun) 지구 광화대
 - 가) 도르노드 우라늄광상 (현재 개발중)
 - 나) 구루반블락 우라늄광상
 - 다) 하랏 우라늄광상 (미국 롱코드 회사 탐사권 취득)

2. 고비-탐착 지구 광화대
 - 라) 나스 우라늄광상 (한국 기업의 탐사개발 참여 추천)
3. 헨티-다우르 (Hentii-Daur)지구 광화대
4. 북몽골 지구 광화대

구체적인 탐사 또는 개발에 착수한 개별 광상의 현황을 소개 하면 Table 1과 같다.

우라늄 광체의 특징

주로 지표에는 강한 풍화작용을 받아 갈철석이 풍부하고 토양층이 두텁다. 발견된 대부분의 우라늄광체는 지표면으로부터 심도가 얇은 곳에 부존하나, 도르노드 광상의 경우 720 m 심부까지 광체가 발달하기도한다. 주로 구조대와 관련되어 형성된 우라늄광체가 심부까지 발달하지만 그 규모면에서 경제성이 높은 광체를 이루지는 못한다. 주요한 광체는 점토, 사질, 탄질 세 일층으로 되어 있어 우라늄의 부존이 층상 규체를 받은 strata-bound 상 광체를 이룬다. 특히 하랏광상의 광체 (Fig. 2)는 0.5 m ~45 m되는 심도에 국한 부존되어 있고, 우라늄의 산상의 특징으로 보아 지하에서 직접 용해 추출해 낼 수 있는 가능성이 높아

Deposit HARRAT
GEOLOGICAL CROSS SECTION

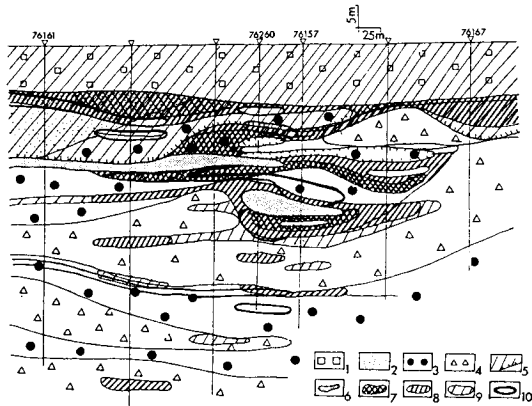


Fig. 2. Geological Cross Section of the HARAAT Uranium Deposit. 1. Diverse clastic yellow neogene deposits; 2-4. Grey deposits (2. mainly sand, 3. mud-send, 4. mud); 5. boundary of oxidized rocks; 6-8. contour lines of the uranium ore-bodies with next uranium flank-contents (6. 0.1-0.2%, 7. 0.03-0.1%, 8. 0.01-0.03%); 9. halo of the uranium dispersion with content of 0.0055-0.01%; 10. halo of scandium (dispersion with concentration of 15-60 g/t) and rhenium (dispersion with content of 0.2 g/t).

이러한 채광기술을 보유한 선진국의 관심을 끌기에 훌륭한 조건이 된다. 지표에서 심도가 깊지 않은 위치에 광체가 부존하는 하랏과 나스광상에서는 셰류 (0.2~0.3%), 탄타늄 (0.017~0.17%) 등의 희유원소가 우라늄에 수반되어 있어, 부산물로서의 가치를 높이고 있다. 주요한 우라늄 광체는 폭과 두께 그리고 연장이 수 m에서 수 km에 이르는 대규모의 층상 광체를 이루어 몽골 전체가 1,471,000톤 이상의 우라늄자원을 확보하고 있다 (Kondratyukin & Melinikov, 1991. Shleider, et al., 1989).

몽골의 우라늄광량을 생산비 별로 구분하여 발표한 내용을 소개하면 다음과 같다.

생산비	우라늄(U) 광량
Kg당 미화 80불	205,000톤
80불~120불	579,000톤
120불 이상	687,000톤
	총 우라늄매장량 1,471,000톤

에르데스(Erdes) 우라늄광산

위치 및 교통

에르데스 광산은 도르노드 (Dornod) 광산이라고도 불리운다. 그러나 도르노드는 우라늄광화대를 의미하는 광산 이름이고, 에

Table 1. 가행 또는 탐사된 몽골 우라늄광상의 현황.

우라늄 광상구	광상명	지질 및 광상	우라늄광물	평균품위 (U %)	매장량 (톤)
도르노드	북초이발산 구조대, 북부의 중생대 신생대 화산암과 적암내의 층상 또는 망상광체 (13개)	화산	브레즈라이트	0.28	33,000
		구조대	코피나이트	0.05~0.58	
		핏치브랜드			
알타이-프리아르	구르반 불락 응회암 내 부존 (17개)	북초이발산 화산 구조대	코피나이트	0.17	16,500
		핏치브랜드			
		우라노페인			
하랏	초이분지의 백악기 퇴적물 (모래, 점토, 실트, 펄)내 배태한 사암형 광상, 지하 45 m 심도 이내 발달 회도류와 휘수연, 은 포함	초기 퇴적물	오투나이트	0.01~0.04	22,700
		퇴적물	토버나이트		
		표형광상	코피나이트		
고비탐작 나스	샤인산트 분지내 백악기-고제 3기 퇴적층내 발달한 사암형광상과 지표형광상	분지내	핏치브랜드	0.052	30,000
		-캐라이트			
		발달한	핏치브랜드		
		지	-체르나이트		
		표형광상	핏치브랜드		
			오투나이트		
			우라노페인		

르데스 광산은 도르노드 광산 중 현재 가행하고 있는 광산 명이다. 에르데스 광산은 몽골 동북부 소련과 접한 도르노드 주 (Aimak)내 다샤 알바 (Dashab Albar) 군 (Sum)에 속하는 광산 마을 에르데스 타운 (town) 부근에 위치한다. 가행 광산은 마을에서 약 15 km 떨어져 있다. 광산 남방 150 km에 위치하는 도르노드 주 수도 초이발산까지 철도편 이용이 가능한 바, 본 철도는 광산 개발과 함께 초이발산과 소련의 치타간을 잇는 철도까지 약 70 km까지가 신설된 것이다. 수도 울란바토 (Ulaan Baatar)에서 몽골의 4대 도시인 초이발산까지 주 3회 비행기편 (약 2시간 비행)이 있고, 초이발산에서 에르데스 광산까지는 비포장도로 이어서 자동차를 이용할 경우 약 4시간이 소요된다.

에르데스 광산촌은 만 여명이 사는 마을로 4-5백 세대로 추정되는 고층 현대식 아파트는 TV 안테나가 엉성하게 남은 채 모두 버려진 빈 집으로 남아 있다. 구러시아의 공산 체제가 붕괴되면서 우라늄의 기획생산이 중단됨에 따라 대부분의 광산 노동자가 철수한 때문이라 한다. 현재 광산은 일단 철수한 구러시아인들 중 간부급 직원만이 다시 돌아와 광산을 간헐적으로 개발하고 있다. 몽골의 영토이면서 마치 소련 영토인양 현재 마을에는 100여대의 사택에 오직 소련인들만이 거주하고 있어, 마을 슈퍼마켓, 식당,

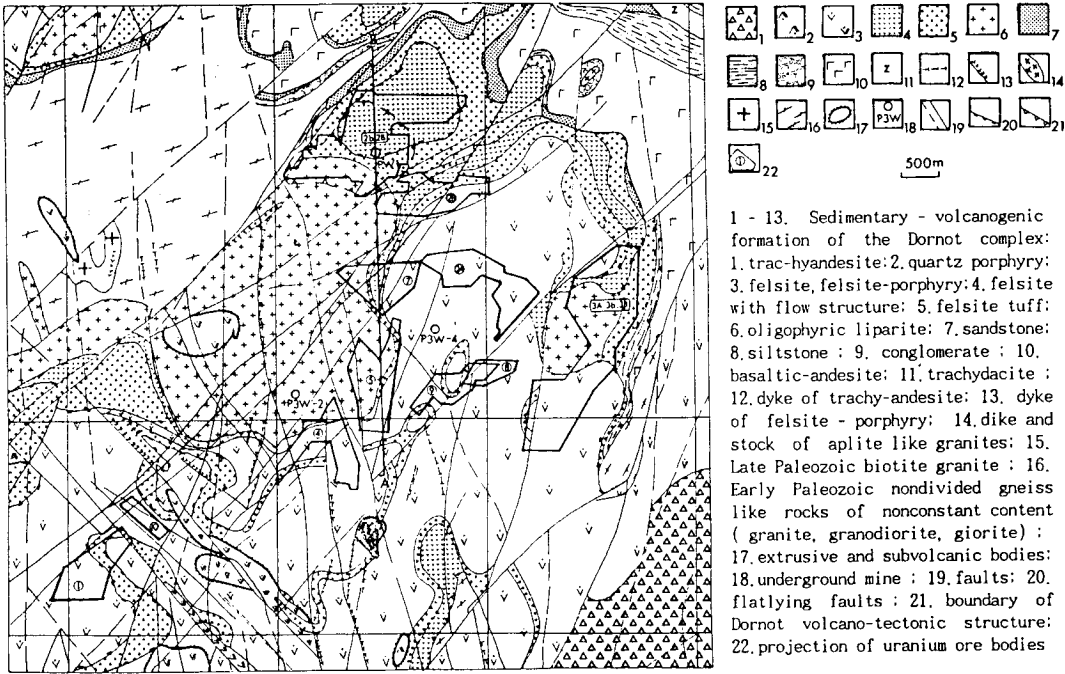


Fig. 3. Geological Map of the Erdes Uranium Mine Area.

학교등이 가동되고 있다.

광산 연혁 및 현황

광산 소장의 설명에 의하면 본 광산의沿革과 現況은 다음과 같다.

鑛山沿革

1. 항공물리탐사 결과 발견된 광상을 380만 루블 투자 탐사, 1984년 개발 착수.
2. 노천채굴에 의한 생산을 하며 수갱을 건설하고 지하 갱도 굴착 탐사 병행.
(수갱 규모-직경 6~7 m, 심도 2,500 m. 수평 굴진-총 연장 22,500 m)
3. 구러시아 공산정부 몰락과 함께 우라늄광 생산 중단, 수갱 입구 2개소 폐쇄.
4. 91년 간부 요원 광산에 복귀.

鑛山現況

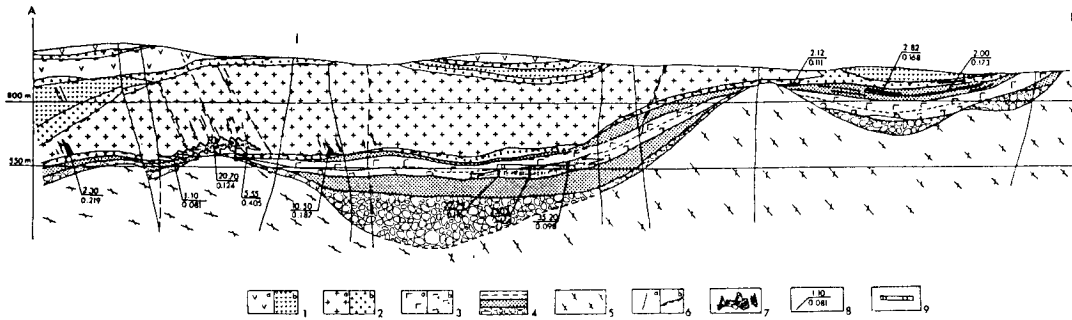
1. 철수 전 700여명이 광산에 종사하였으나 현재는 100여명이

작업에 종사함.

2. 전기는 쓰련으로부터 송전되며, 용수는 초당 750리터 생산 가능한 지하수 이용.
3. 현재 전체 시설의 30%만이 가동되는 상태에서 연간 우라늄 1,000톤 생산 목표로 준비 중임.
4. 현 노천 채굴의 광체 실수율 70%로 소개하였으나 철도편 적치장에서 조사한 바에 의하면 약 50%에 해당됨.
5. 93년초 화차 40량 (약 1,200톤)분 쓰련 농축장 (크라스노 카민스크 콤비나트)으로 송부.
6. 철도 적치장에 야적된 광석량은 약 500여톤으로 추산됨.

지질 개요

에르데스광산 일대의 지표 지질 (Fig. 3)은 대체로 도르노드 복합체로 이루어져 있다. 이 복합체는 후기 중생대에 형성된 화산 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있다. 도르노드 복합체의 층서적 단면은 화산활동의 주기적 분출에 의해 형성된 상, 중, 하 세개의 준복합체로 구분된다. 하부 준복합체의 바닥은 古地表 風化面 (paleo relief)을 고르게 평준화한 基底 礫岩으로 구성되어 있다. 안산암과 현무암이 화산 분출암으로 관상체를 이루어 나타나며 흔히 이들 하부에는 벼개 용암이 발달되어 있고 이들 하부는 호성 퇴적층과 육성 퇴적층으로 이루어져 있다. 중부 준복합체는 판



1. felsite, felsite-porphry /a/, ignimbrite /b/ ; 2. Oligophyric liparite /a/, acidic tuff /b/ ; 3. basaltic andisite /a/, and their breccia /b/; 4. conglomerate, sandstone, tiltstone; 5. undivided basement rocks; 6. high-angle /a/ and low-angle interbed faults /b/ ; 7. ore bodies; 8. thickness and content of uranium, mineralization by boreole's data; 9. underground workings at the horizon 550 m.

Fig. 4. Geological Cross Section of the Dornod Uranium Deposit. 2.12; indicates thickness of the uranium ore, 0.111; indicates grade of uranium content.



Fig. 5. Alpha auto radiograph taken from a specimen from the uranium ore from Erdes Mine. Dark parts in the photo are effect of radiation of uranium. Most parts of the specimen which are coaly shale appear dark indicate uranium content while light portions which are composed of quartz sands that might be derived of a granitoid indicate no uranium content. (Sample size is real). The most dark part at the right side of specimen indicates uranium is enriched along joint or fractured plane.

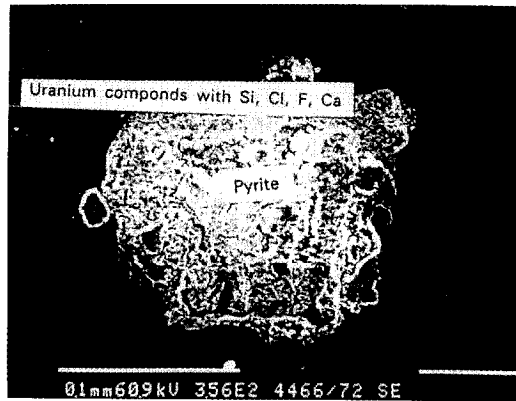


Fig. 6. A photo of uranium aggregates taken by SEM from the uranium ore from the Erdes Mine.

상체의 유문암 (Oligophyric liparite)이 약 750m 의 두께를 이루며 이 하부는 산성 응회암으로 되어 있다. 상부 준복합체는 광산 부근에서 제한적으로 분포하고 조면암질 안산암으로 구성 되어 있다. 이들 화산 쇄설성 물질의 퇴적 환경이 해성환경에서 이루어지는 사이 사이에 육성퇴적환경으로 변화가 있었음이 특히 하부 준복합체와 중부 복합체 사이에서 잘 보여주고 있다. 즉 해성환경에서 라바의 분출로 형성된 안산암이나 현무암의 베타 용암과 올리고피릭 (섬록암질) 유문암 (liparite)이나 유리질 산성 응회암을 육성퇴적층이 분리시켜주고 있는 바, 바로 이 육성층 내에 우라늄광이 주로 배태되어있다. 기반암은 원생대의 편마암, 편암, 대리석들이 혼합되어 이루어진 再生變成複合體와 화강섬록암으로 구성된다.

광상

도르노드 광상의 우라늄광을 함유한 층은 구소련이 분류한 경제성 광물 함유층으로 분류된 것들 중 형석-몰리브덴-우라늄층에 해당한다. 우라늄 광화작용은 화산성 조구조와 침식성 조구조에 의해 침하가 중첩된 곳에 집적된 퇴적층에 발달하고 있는 바, 특히 기반암에 의해 규제된 단층 생성과 이질화작용이 일어난 곳에 집중적으로 일어났다. 도르노드 우라늄 광상은 도르노드 화산 조구조의 구조 (Dornod volcanic tectonical structure, DVTS)인 Erchtyn 불력내 한 부분인 Mardangol 부분에 속하고 있어 도르노드와 타스가누르 (Tasgannuur)의 대단층 남북 주향 방향과 NW-SE 방향의 구조선내에 규제되어 있다. DVTS가 이룬 침하 형태의 국지적 구조내에 화산성 퇴적층이 충전된 것이다. N-S와 NW 방향의 주향 단층과 침강구조 운동에 수반된 수직 방향의 정단층은 평탄한 경사의 단층과 뒤엎히는 곳에 각력화 작용이 일어나 삼차원적 침투대를 형성하고 우라늄의 농집대를



Fig. 5. Alpha auto radiograph taken from a specimen from the uranium ore from Erdes Mine. Dark parts in the photo are effect of radiation of uranium. Most parts of the specimen which are coaly shale appear dark indicate uranium content while light portions which are composed of quartz sands that might be derived of a granitoid indicate no uranium content. (Sample size is real). The most dark part at the right side of specimen indicates uranium is enriched along joint or fractured plane.

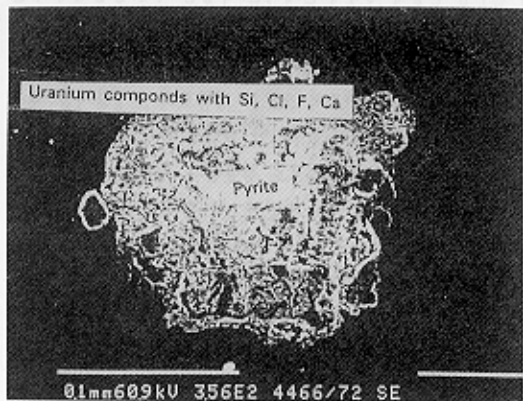


Fig. 6. A photo of uranium aggregates taken by SEM from the uranium ore from the Erdes Mine.

형성시켰다. 본 광산에서의 평탄한 경사의 단층은 응회암이나 육성 퇴적암 층준내의 판상체 화산암 접촉부에 흔히 발달하고 있어, 도르노드 복합체 중 하부 준복합체와 중부 준복합체를 갈라 놓는 응회질 퇴적암내에 절리대와 층리내 단층이 가장 많이 나타나 있다. 따라서 광체는 섬록암질 유문암 (오리고피릭 리카라이트)바닥 아래에 놓이게된다. 우라늄의 광화작용은 에르테스광산 일대 거의 모든종류의 암석에서 일어났다. 그러나 경제성이 있는 광체는 도르노드 복합체내 응회암질 퇴적층내에 집적되어 있다. Fig. 6 은 에르테스 광산에서 보이는 광체를 지질 단면도내에 표시해 보이고 있다. 도르노드 우라늄광상은 20 km²의 넓은 지역에 분포하는 14개의 독립된 광화대로 구성되어 있어, 형태별로는 판상 또는 망상등으로 구분되어진다.

우라늄 매장량의 47%를 차지하는 가장 큰광체는 7번 광체로 본 광산의 중심부에 위치하며 지표로부터 400~500 m 심도에 산출하는 도르노드 복합체 중 하부 준복합체 내의 세번째 안산암-현무암 판상체 바닥에 존재하는 특정한 벼개 용암내에 부존한다. 우라늄은 약 40 m 두께의 각력암 내에 충전된 상태로 그 분포 면적은 평면과 단면상에서 400 m×800 m의 사다리꼴의 넓이를 갖는다. 지질구조적 으로는 대규모의 호성분지를 채운 육성 퇴적층위에 안산암-현무암이 뒤덮혀 환상의 판상체를 이루어 남서 방향으로 점진적으로 첨멸한다. 우라늄 품위는 중앙부가 가장 높고 가장자리로 가면서 낮아진다. 우라늄의 배태 상태는 그 산상이 암시하고 있듯이 벼개 용암내 내부적 구조에 따라 크게 영향을 받아 膠着物내에 주로 흡착되어져, 특히 미세한 쇄설성 암석 덩어리속에 다량 충전되어 산출한다.

소규모의 판상체 광체는 2 (2A, 2b, 2B)번, 3 (3A, 3b, 3B)번, 9번 광체로 구분 명명되어 본 광산의 북동측에 위치, Erchtyn 불력 국지 함몰대 주변 경계부에 발달한다. Fig. 2 (도르노드 광산 지질도)에서 보이고 있듯이 평면상에서 본 광체는 남북 방향으로 연장되며 기저암의 起伏의 斜面이나 古溪谷에 자리잡고 있어 암층사이의 절리면, 하부와 중부 준복합체 경계 층준인 응회질 퇴적층 중에 발달하고 있다. 현재 노천채굴 방식으로 채광되고 있는 2번 우라늄 광체는 형태는 렌즈상이며 때로는 육성기원의 목질부로 구성된 탄질물을 다량 함유하는 협층상의 암석에의해 규제되어 나타난다. 단면상에서 보이는 소규모 판상체 광체는 40 m를 초과하지 않는 거리에서 층리를 달리하는 조립질 또는 세립질 퇴적물에 수반되어 나타나 도르노드 광산 우라늄 매장량의 34%를 차지한다. 절리를 따라 발달한 맥상 광체는 1, 4, 5, 6, 8, 10번 광체들로서 본 광산 우라늄 매장량의 17%를 차지한다. 이들 광체의 분포는 중앙과 Baga-Erchtyn 단층내에 발달한 것으로 다양한 형태와 방향으로 발달되어 대체로 50~350 m 간격을 두고 나타난다. 맥상 우라늄 광체의 수직 길이는 50~80 m 이고 현 지표로부터 30~600 m 심부에 위치한다.

이상 기술된 광체의 크기를 간략히 표시하면 Table 2 와 같다.

Table 2. 도르노드 광산 (에르테스 광산)의 광체 규모.

광체 형태	광체 번호	광체 규모			방향	
		주향방향	경사방향	두께		
판상 광상광체 (Plate-like ore)	평판체 (Tabular ore)	2A	1,300 m	60~380 m	1.7 m	준수평
		2b	1,200 m	140 m	1.7 m	
		2B	850 m	250~900 m	20 m	
		3A	1,700 m	200~650 m	1.2 m	
		3b	600 m	600 m	1.2 m	
		3B	1,500 m	250~400 m	1.2 m	
		9	990 m	70~300 m	1.3 m	
		5	1,100 m	80~400 m		여러방향으로
		4	380 m	80~230 m		거의 수직
		1	950 m	200~480 m		
8	450 m	50~200 m				
10	540 m	130 m				
6	500 m	80~280 m				

광화작용과 변질작용

우라늄 광화대의 풍부한 粘土 광물은 광화작용과 泥質化작용이 수반하였음을 잘 보이고 있다. 즉 장석류의 광물이 몬트모리노나이트, 카오리나이트, 일라이트등으로 변질 생성되는 粘土 광물화 현상을 광화대에서 볼수 있고 곳에 따라서는 綠泥石化 또는 탄산염화 현상이 관찰된다. 이러한 변질 현상이 광화대와 관련되어 나타나 보이는 것은 바로 우라늄 광화작용이 구조대에 집중 발달되고 있기 때문이다. 단층 운동에 의해 모암은 각력화 현상을 보이고 광물은 粘土화 한다. 구조선과 관련된 이질화작용을 받은 곳 모두에서 우라늄광화작용을 관찰할 수 있는 것은 아니므로 바로 우라늄 광화작용이 변질작용과 반드시 동시에 일어난 것만은 아니다. 광화작용과 변질작용 모두가 공히 물질의 이동을 허용하는 메카니즘 (동력작용)과 공간이 필요하였음이 분명하다. 주로 변질작용에는 물이 첨가되고 광화작용에는 우라늄 물질이 관여하였으므로 많은 곳에서 광화작용과 변질작용은 같은 곳에서 동시에 또는 시간을 달리하여 일어난 것으로 관찰된다.

광석의 조성광물 및 우라늄광물

우라늄 광석은 세립 내지는 조립의 집합체를 이루고 있는 바, 그 크기는 0.001~2 mm를 이룬다. 광석의 石理는 확산, 열록진 형태, 대상등으로 광염되었거나 토상으로 나타난다. 우라늄광석이 각력과 교질석리로 나타날때 고품위의 우라늄을 보인다. 광석의 구조는 콜로폼, 입상, 구과상, 망상, 판상등으로 나타나고 있다. 광석을 이루고 있는 조암광물중 석영, 흑운모, 일라이트, 몬트모리로나이트가 주 구성광물을 이루고, 정장석, 형석, 백운모, 안케라이트 (ankerite), 능철석 (siderite), 중정석 (barite), 류코센 (leucoxene)은 부수광물을 이루며, 아주 드물게 견운모, 전

Table 3. 에르데스 광산 광체의 화학성분표.

화학 성분	평판체 광체 2A, 2B, 2C	평판체 광체 *(노천광)	평판체 광체 3A, 3B, 3C	판상체 광체
SiO ₂	68.84	68.64	67.59	56.32
Al ₂ O ₃	15.34	14.11	14.45	16.28
Fe ₂ O ₃	0.71	2.81	2.23	1.38
FeO	1.30		1.15	3.53
TiO ₂	0.46	0.38	0.45	2.96
P ₂ O ₅	0.10	0.14	0.22	0.95
CaO	0.47	1.54	2.54	3.60
MgO	0.75	0.51	0.5	1.11
MnO	0.05	0.06	0.07	0.08
K ₂ O	3.26	3.06	3.47	2.01
Na ₂ O	3.02	1.95	2.56	3.38
NO	2.14		1.64	1.48
F	0.08		-	0.29
CO	0.77		0.78	3.26
S	0.19		0.18	0.31
Igl	4.59	6.80	5.07	7.68

*한국자원연구소 분석실 분석

Table 4. 합 우라늄 광석 (검정 부분) 분석 결과표. (단위 : %)

시료/성분	FC(고정탄소)	Ash	VM(휘발성분)	H ₂ O
검정부분	1.15	93.26	4.06	1.68

Table 5. 유기물질 분석 결과표. (단위 : %)

시료/원소	탄소	산소	수소	질소	황
1	29.58	7.03	1.468	2.764	2.20
2	30.69	7.30	1.510	2.611	2.20

기석, 아나타세 (anatase)가 드물게 수반된다. 광석의 광석광물, 즉 우라늄광물은 coffinite, nasturan, uranophane, brannerite가 주가되고 부수광물로는 황철석, 섬이연석, 휘수연석, 방연석, 백철석, 황동석, 우라늄-리코펜이 나타나며, 드물게 우라니아이트, arsenopyrite, 함우라늄 티탄철석이 나타나고 있다.

우라늄 광석의 화학성분, 품위 및 광량

Table 3은 본 광산 우라늄광석의 화학성분표이다. 현재 가행 중인 노천채굴장 바닥에서 확인되는 우라늄은 원마도가 낮고 분급이 잘되지않은 조립질사암 상부 흑색탄질물내에 배태한다. 흑색탄질물은 주변의 사암을 형성하고있는 것과 유사한 모래의 입자들을 포함하고있다. 방사능 탐지기 (gamma ray scintillometer GRS-101)에 의해 확인된 방사능강도는 국부적으로 탄질물의 함량이 높은곳에서는 눈금의 최대치인 1000 cps를 초과한다. 노천채굴이 진행된 2번광체의 화학분석 결과는 기 분석된 다른광체의 것과 유사하다. (Table 3)

우라늄을 배태한 흑색을 띠는 부분은 별도로 분리하여 분석하였는 바, 그 결과는 Table 4 에서 보이는 바와 같다.

Table 6. 우라늄광석의 매장량.

광체	확정광량(천톤)	우라늄(톤U)	평균함량(U%)
C1	12,468	22,318	0.179
C2	3,999	6,478	0.162

2번 우라늄광체는 탄질물에 의해 흑색을 띠고 우라늄은 유기질 탄소에 흡착된 형태로 산출됨을 알 수 있다.

Table 5 는 Table 4 의 시료와 동일한 시료를 유기질 분석장치에 의해 검출한 분석 결과이다.

전술한 우라늄광체에서 마치 斑晶과 같은 형태로 들어 있는 석영입자들은 유체포유물을 보이고 있는 것으로 미루워 보아 화강암류의 암석으로부터 분리되어진 산물로 보인다.

Fig. 5는 에르데스 광산의 2번 우라늄광체 시료로 방사능을 특수필름에 나타낸 사진 (alpa-autoradiography)이다. 이는 초산 셀룰로오즈 (LR115-Type2,Kodak)를 사용하여 우라늄으로 부터 방출되는 알파선의 飛跡을 검출한 것이다. 사진에서 어두운 색을 보이는 부분은 모두 우라늄에서 방출된 알파선에 의해 반응된 결과이며 밝은부분은 흑색 셰일중에 포획되어 있는 화강암의 석영편들로 윤곽이 뚜렷하다. 사진의 시료 우측면이 아주 검게 보이고 있는것은 시료측면에 피막상으로 농집된 이차우라늄 광물에 의한것이다. 2번 광체의 우라늄 평균함량은 0.11~0.17%로 보고되고 있다. 도로노드 광산의 여러 광체중 C 광체만은 그 품위와 광량이 발표되어 있는 바, 밝혀진 내용은 Table 6과 같다.

몽골 우라늄 광상의 성인

몽골 우라늄 광체는 광활한 분지에 쌓인 화산 분출물로된 육상 퇴적층 사이사이에 호수 환경에서 집적된 흑색 유기질 퇴적층이 선택적으로 우라늄을 흡착하여 이루어진 일종의 stratabound deposit (Guilbert and Park, 1986)을 이루어 주요한 우라늄자원을 형성하고 있다. 불규칙한 양상의 백상을 이루는 우라늄광체 역시 지표로부터의 심도가 아주 깊지 않게 부존하고 있음은 구조와 관련하여 지하수의 운동과 일련의 관계를 가지고 광체가 형성되었음을 추정케 해준다.

우라늄 원소의 근원은 화산 폭발물중에 있었을 가능성이 많고 이 우라늄이 풍화작용과 침출작용 (leaching)을 받는 동안 4가 우라늄은 6가 우라늄이 되어져 지하수에 용해됨으로서 (UO₂)⁺² 이온으로 이동이 가능하였으리라고 본다. 구조대를 통한 지하수의 이동은 우라늄을 이동시키며, 변질작용으로 생성된 모암의 점토가 갖는 콜로이드특성 (Krauskopf, 1979)에 의거 일부 우라늄은 구조대내 점토광물에 흡착된 상태로 고정되어져 부분적인 농집대를 이루었을 것으로 본다. 유기성 탄질물이 많은 흑색 셰일층은 훌륭한 투수층으로 지하수를 통과 시키면서 또 수용할 수 있었을 것으로 추정된다. 특히 유기질물의 환원환경 유발로

지하수내 함유된 우라늄은 환원환경에서 우라늄 광물로서 재 침전되어져 pitchblende, coffinite 등으로 세일층에 산출하게 된 것이다.

몽골 우라늄광상 개발의 문제점

에르데스 우라늄광산은 앞에서 소개된 바와 같이, 몽골 동북부 초이발산 근처 러시아 국경에 근접하고 있어, 구러시아인들에 의해 활발히 개발되어진 광산으로 공산체제가 무너지면서 일단 광산이 휴광하였다가 다시 개발에 들어간 곳이다. 대형 아파트가 텅 빈채로 버려져 있고 심부 광채 개발용 수갱(shaft)이 건설된채 갱도 입구가 閉鎖되어져 있음은 몇년전까지 많은 인력이 개발에 참여하고 있었음이 분명하다. 현재는 100여호의 간부급 사택과 슈퍼마켓이 있는 마을에서 사람들이 보이고 노천 채굴장에서 가동하고 있는 기중기와 폐석을 운반하고 있는 덤프트럭이 현재 가동되고 있는 광산임을 입증해주고 있는 것 같았다. 광산 사무실에서 광산 소장이 제시한 생산량과 철도 화차 적치장에서 제시하는 소련의 우라늄 농축장으로 보낸 광석량이 너무나 차이가 있어 이들이 제시하는 정보의 신뢰도에 문제가 있음을 알았다.

1 pound당 7불하는 우라늄의 광량을 IAEA에서 규정한 틀에 맞게 광량을 생산비 별로 구분한 것이 분명히 터무니 없는 경제 개념에 의한 생산비 자료를 의심치 않을 수 없다. 93년초 화차 40량의 광석을 소련에 보내었다는 것이 사실이라 하여도 과연 현재 노천 채굴에서 채취되는 우라늄광석이 경제성이 있다고 보기에는 어렵게 느껴지도록 0.8~1m 폭의 우라늄광체가 빈약해 보였다. 지표로부터 지하 40~50m 내외의 심도에 부존하는 우라늄광체를 가진 하랏광산을 우리는 공동 개발을 위해 공동 탐사를 추진할 것을 구두 합의 하였으나 93년도 후반기에 몽골 정부는 이미 미국 콩코드회사가 관심을 표명하여 그쪽에 탐사권을 주게 될 것임을 일방적으로 통고해 왔다.

결 언

에르데스 광산의 노천광 지질단면에서 관찰된 지질광상을 근거로 하랏과 나스등의 지질정보를 분석하여 몽골 우라늄자원을 이해할수 있도록 요약기술하였다. 시기적으로 경상계 퇴적분지와 비슷한 시기에 퇴적된 에르데스의 지질은 경상 분지의 퇴적암을 연상케 한다. 몽골의 우라늄을 함유한 지층이 유기질 탄질세일층이 추가되고 구조대에 충전된 맥상이나 망상체의 광상을 이루고 있어 우라늄광체의 생성은 지하수의 이동이 결정적인 역할을 하였다고 판단된다.

몽골의 우라늄자원중 탄질 세일층에 함유된 우라늄 자원은 특히 지표 가까이 부존함으로써 중요한 의미를 갖는다. 우라늄이 다량 우라늄광물로 탄질 세일층에 침전할 수 있었던 것은 유기질

탄소화합물의 환원제로서의 역할이 컸다. 특히 지하수에 용해된 우라늄 (우라닐) 이온이 미정질의 우라늄광물 (픽치브렌드)로 많은 곳에서 탄질 유기물에 흡착되어진 상태로 고정되어진 것이다. 환원환경에서 침전된 우라늄광물은 지표 가까이에 위치하게 됨으로써 산화환경에서 다시금 부분적인 용해로 이동이 가능하게되고 이렇게 이동되는 우라늄은 구조선 (단층, 층리, 절리등)에 따라 모암의 변질물로 발달된 점토광물에 흔히 흡착되어져 우라늄 농축대를 이룬다. 하랏광상과 같이 준사막형의 기후조건아래서 지표가 까이의 점토층과 모래층에서 산출되는 우라늄은 투수성이 좋은 사암층내에서 지하수에 용해 운반된 우라늄이 지하수가 흐르는 통로인 산화환경대와 동로외곽의 환원환경대 경계부에서 침전, 형성된 것이다. IAEA의 분류에 의하면 이같은 상태에서 이루어진 광상은 사암형 광상 (sandstone deposit)이나 지표형광상 (surficial deposit)에 해당하며 우라늄의 채광은 적절한 산도의 수용액을 이용하여 leaching시켜 생산할 수 있는 유형이므로 현재의 국제 저가에 맞서 저렴한 생산비로 우라늄을 회수할 수 있는 가능성을 암시해주고 있다. 이러한 가정은 지하 40~50m 심도 상위에 우라늄광체가 부존하는 하랏광산을 미국의 콩코드사가 관심을 표명하고 탐사 개발권 확보를 신청하였다는 사실로 미루워 유추해 볼 수 있을 것 같다. 공동조사를 약속한 하랏광상 대신에 나스광상을 공동으로 탐사할 것을 제의해온 바 있으나, 앞서 지적한 바와 같이 몽골 정부가 제시한 자료에 대한 신뢰도를 점검하고 유기 탄질물에 흡착되어 있는 우라늄 회수에 대한 제반 정보를 입수하기 까지 당분간 몽골의 우라늄 자원에대한 공동 탐사개발 추진은 유보해야 될 것으로 판단된다. 그러나 몽골의 우라늄 자원은 이와 같은 관점에서 조속한 기간내에 깊이 있게 실험 연구되어져 몽골 우라늄 자원의 경제성 여부를 조속히 파악할 필요가 있고, 그 경제성이 파악되는데로 불황기를 이용하여 선진국에 의해 선점되기 전에 개발권을 확보할 필요가 있음을 강조한다.

謝 辭

유기질의 탄소와 산소의 분석을 친절이 해주신 한구자원연구소의 오재호 박사, 그리고 SEM 사진을 촬영해주신 안기호씨께 감사드린다.

참고문헌

- Guilbert, J.M and Park, C.F, Jr. (1986) The Geology of Ore Deposit. W.H.Freeman and Company, 985p
 Kondratyukin, A.D. and Melnikov, V.I. (1991) Production report by geological task of MGSE-47 for the 1988-1990.
 Krauskopf, K.B. (1979) Introduction to geochemistry, 녹원출판사 번역판(문 건주역)
 Melink, B.A. (1988) Aero Geological Map 1 : 250,000 in East Gobi

Region of Mongolia.
Mironov, Y.B., Rocov, Y.B. and others (1992) Package of geological information the uranium bearing on the territory of Mongolia. Volume 1 and 2.
Robert Storey (1993) Mongolia. Australia RRP. 234p.

Schleider V.A., Melnikov V.I. and others (1989) Record about results of detail prospecting in 1984-1988 with reserves calculation, Mardaigol deposit.

1994년 6월 11일 원고접수