

## 북한 압동 니오븀-탄탈륨(Nb-Ta) 광산의 지질 및 광상

이재호\* · 김유동  
한국지질자원연구원

### Geology and Ore Deposit of the Apdong Nb-Ta Mine, North Korea

Jae-Ho Lee\* and You-Dong Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

The geology of the Apdong Nb-Ta deposit, is hosted by alkali metasomatites, consist of Upper Proterozoic sedimentary rocks, alkali syenites(Hoamsan intrusive) of Phyonggang Complex(late Paleozoic to early Mesozoic), Jurassic granite and Quaternary basalt. Alkali syenites are distinguished as alkali amphibole-pyroxene syenite, alkali amphibole-biotite syenite, biotite-nepheline syenite, biotite syenite, and quartz-alkali amphibole-pyroxene syenite. Alkali metasomatites are the products of intense post-magmatic metasomatism, and form the Nb-Ta ore bodies as the belt, irregular vein and lenticular types in the southern part of Hoamsan intrusive. The ore mineralization is characterized by the occurrence of pyrochlore, zircon, and small amounts of columbite, fergusonite, magnetite, fluorite, molybdenite, ilmenite, titanite, apatite, and monazite. Pyrochlore is one of the niobium/tantalum oxides and contains substantial amounts of rare earths and radioactive elements. The compositional varieties of pyrochlore can be defined: (1) enriched in tantalum, uranium and cerium, (2) substantially tantalum- and fluorine-poor, and (3) enriched in thorium or barium. The geochemical characteristics, ore textures and mineral occurrences indicate that alkali metasomatism of the mineralizing fluid was the dominant ore-forming process.

**Key words :** Apdong Nb-Ta deposit, alkali syenites, alkali metasomatism, ore minerals, pyrochlore

알칼리 교대암내에 배태되는 압동 Nb-Ta 광상의 지질은 상부원생대의 퇴적암류와 이를 관입·분포하는 고생대 후기에서 중생대 초기의 평강암군에 속하는 호암산 관입암체(알칼리 섬장암류), 주라기의 흑운모화강암 및 제4기의 현무암으로 구성된다. 알칼리 섬장암류는 각섬석-휘석 섬장암, 각섬석-흑운모 섬장암, 흑운모-하석 섬장암, 흑운모 섬장암 및 석영-각섬석-휘석 섬장암 등을 포함한다. 후기 마그마 단계에서 수반되는 알칼리 교대작용에 의해 형성된 알칼리 교대암은 호암산 관입암체의 남쪽 가장자리를 따라 띠모양이나 불규칙한 맥상 및 렌즈상으로 Nb-Ta 광체를 이루고 있다. 산출되는 광석광물은 파이로크롤과 저어콘을 비롯하여 극소량의 콜럼바이트, 퍼구소나이트, 자철석, 형석, 휘수연석, 티탄철석, 티타나이트, 인회석 및 모나자이트 등 이다. Nb, Ta, 희토류 및 방사성 원소(Th, U)를 함유하는 파이로크롤은 (1) 부화된 Ta, U 및 Ce, (2) 낮은 함량의 Ta 및 F, (3) Th 또는 Ba의 부화 등으로 특징된다. 지화학적 특징과 광석의 구조 및 광물의 산출 특성으로 미루어 광화작용이 알칼리성 광화유체의 교대작용에 따른 것임을 알 수 있다.

**주요어 :** 압동 Nb-Ta광상, 알칼리 섬장암류, 알칼리 교대작용, 광석광물, 파이로크롤

### 1. 서 론

니오븀(Nb)과 탄탈륨(Ta)은 친석원소로서 화학적 및 결정화학적 성질이 서로 유사하기 때문에 항상 복합광

물로 같이 수반되어 산출되며, 현재까지 알려진 수반광물은 약 90여 종에 이르고 있고, 국내 수요가 매년 10%이상 증가하고 있는 희유금속자원이다. 니오븀은 철 합금이나 항공기 터빈엔진의 초합금용(바나듐, 지르코

\*Corresponding author: jhlee@kigam.re.kr

늄, NbC-WC 등)으로 쓰이는 아주 중요한 금속으로서 산업이 발달된 나라에서는 매우 수요가 높은 금속자원이다. 미국과 같은 선진국에서는 항공기, 미사일, 무선통신, 에너지, 운송산업과 같은 방산용으로 사용되기 때문에 매우 중요하게 생각하는 금속자원으로서 비축전략광종(NDS-National Defense Stock) 중 하나이다. 탄탈륨은 휴대폰, 컴퓨터, 캠코더 등의 핵심소재인 소형 콘덴서의 양극 재료로 사용되는 것은 물론 코발트, 철, 니켈 등과 초경합금을 만들어 항공기 구조물이나 제트 엔진 부품 제조 등에 사용된다. 또한, 탄탈륨 카바이드의 형태로 시추기계, 절삭공구 및 농기계 등에 사용되며, 우수한 내부식성을 이용한 탄탈륨 압연기나 가공품 등은 콘덴서, 증류기, 열교환기, 펌프, 원자로와 같은 부식과 열에 강한 화학공장의 장비를 만드는데 사용하고 있다. 니오븀과 탄탈륨의 주요 생산 국가는 호주를 비롯하여 브라질, 캐나다, 중국 등으로 현재 세계 곳곳에서 탐사가 수행되고 있다.

북한에는 중생대 및 신생대의 관입암과 성인적으로 연관성을 가지고 연·아연 광상, 동 광상, 니켈 광상, 몰리브덴 광상 및 중석 광상 등을 비롯하여 Nb, Ta 및 REE 등을 함유하는 희토류 광상이 발달하고 있다(공업출판사, 1990).

압동광산은 중생대 평강암군에 속하는 호암산 알칼리관입암체내에 발달하는 Nb-Ta 광상으로 강원도 평강군 압동리(동경 127°22'00", 북위 38°25'00") 부근에 위치한다. 광산은 1974년도에 북한의 과학원과 지질총국에서 발견하여 평강지질탐사대에서 1987년까지 주로 소위 해방광체로 불리는 주 광체를 대상으로 탐사가 진행되었으며, 현재는 휴광상태로 한국의 성남전자가 북한과 공동으로 탐사개발을 추진 중에 있다.

압동광산의 지질 및 광상에 관한 연구는 국내에 보고되어 있지 않다. 이번 연구에서는 공업출판사(1990)에서 발행한 조선지질구성과 강원도 탐사관리국 평강지질탐사대의 보고서(1987) 및 현지 조사 자료를 토대로 Nb-Ta 광산의 주변지질 및 광상의 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 지질 및 암석기재

조사지역의 지질은 상부원생대의 퇴적암류와 이를 관입·분포하는 평강암군의 알칼리 섬강암류, 주라기의 단천암군인 흑운모화강암 및 제4기의 현무암으로 구성된다(Fig. 1). 상부원생대의 상원계에 속하는 퇴적암류는 역암, 규암, 석회암, 천매암 및 편암으로 구성되어 있다. 이들은 알칼리 섬강암류 및 흑운모화강암에 의해 관입되고 있다. 평강암군은 하부 고생대층인 황주층군과 중부 고생대층인 임진층군을 저반 형태로 관입하고, 주라기 중세의 단천암군에 의해 관입되어 지는 층서 특성을 보여주고 있으며, 또한 K-Ar 법에 의해 측정된 관입체들의 지질연대는 190~361 Ma로 평강암군의 관입시기가 고생대 후기에서 중생대 초기였음을 지시한다(공업출판사, 1990; Geology of Korea, N. Korea, 1996).

알칼리 섬강암류는 소위 호암산 관입암체로 불리는 평강암군에 속하는 관입암체로 압동 Nb-Ta광상이 발달하고 있으며, 특히, 평강암군내에는 많은 유색 및 희유금속광체(Cu, Mo, Nb, Ta, Ce 등)가 발달하고 있는 것으로 알려져 있다. 조사지역의 호암산 알칼리 관입암체는 호암산을 중심으로 동서방향의 타원형태(약 9 km×5 km)로 발달하고 있으며, 각섬석-휘석 섬강암,

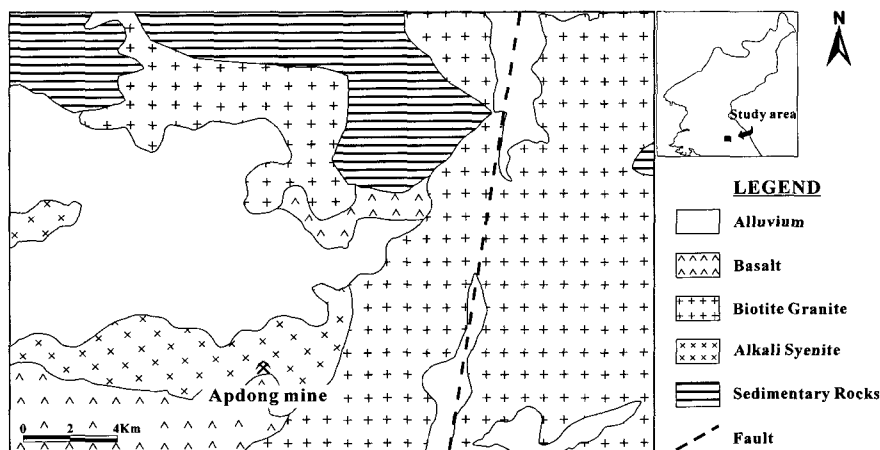


Fig. 1. Generalized geological map of the Apdong Nb-Ta mine.

각섬석-흑운모 섬장암, 흑운모-하석(nepheline) 섬장암, 흑운모 섬장암 및 석영-각섬석-휘석 섬장암을 비롯하여 알칼리 교대작용으로 형성된 교대암류 등으로 구성된다.

조면암질, 편마, 괴상, 호상, 부등형 및 반자형 입상 구조가 관찰되는 중립질의 알칼리 각섬석-휘석 섬장암은 관입암체의 중심부와 남쪽에 분포하며, 미사장석, 엘바이트, Na-각섬석, Na-Fe 휘석 및 석영 등의 주구성 광물과 자철석, 티탄철석, 저어콘(zircon), 티타나이트(titanite), 파이로크롤(pyrochlore) 및 인회석 등의 부성분 광물로 이루어져 있다. 상반에는 세립질 알칼리 석영-각섬석-휘석 섬장암이 그리고 하반에는 흑운모 섬장암이 발달하고 있다.

조립내지 중립의 알칼리 각섬석-흑운모 섬장암은 회색을 띠며, 괴상 및 반자형 입상구조를 보이고, 주구성 광물은 미사장석, 엘바이트, Na 각섬석, 흑운모 등이다. 부성분 광물은 소량의 자철석, 티탄철석, 저어콘, 파이로크롤 및 인회석 등이다. 관입암체의 북쪽에 발달하고 있다.

회백색, 회녹색 및 진한 회색의 흑운모-하석 섬장암은 호암산 북쪽 경사면에 띠모양으로 발달되는데, 유상 및 반자형 입상구조가 관찰된다. 주구성 광물은 미사장석, 엘바이트, 하석, Na-각섬석, 흑운모, Na-Fe 휘석 등이며, 부성분 광물은 소량의 자철석, 티탄철석, 저어콘 및 인회석 등이다.

편마구조를 보이는 흑운모 섬장암의 주구성 광물은 미사장석, 엘바이트, 흑운모 등이며, 부성분 광물은 소량의 인회석, 형석, 방해석, 티타나이트, 석류석, 저어콘, 자철석 및 티탄철석 등이다.

세립질 알칼리 석영-각섬석-휘석 섬장암은 조면암질, 편마 및 반자형 입상구조가 관찰되며, 주구성 광물은 Na-각섬석, Na-Fe 휘석, 미사장석, 엘바이트, 석영 등이고, 부성분 광물은 소량의 자철석, 티탄철석, 저어콘, 파이로크롤 및 티타나이트 등이다. 관입암체의 남쪽에 분포 발달되고 있다.

단천암군으로 분류되는 화강암은 소위 고산-금강산 관입암체로, 조사지역의 상원계 지층과 알칼리 섬장암류를 관입·분포하고 있다. 괴상 및 반자형 입상구조를 보이는 중립의 화강암으로 장석 반정이 관찰되기도 한다. 주구성 광물은 석영, 미사장석, 사장석 및 흑운모로 구성되며, 3% 미만의 각섬석이 포함되기도 한다. 부성분 광물로는 티타나이트, 인회석, 석류석, 저어콘, 중정석 및 자철석 등이다.

반상조직을 보이는 제4기의 현무암은 소위 곡지현무암이라 명명되고 있으며, 평강암군의 알칼리섬장암과 단천층군의 흑운모화강암 그리고 국부적으로 상원계의

퇴적암류를 피복하고 있다. 현무암은 감람석 현무암과 감람석-휘석 현무암으로 대별되며, 감람석과 휘석이 반정을 이루고 있다. 석기는 사장석, 휘석, 감람석 및 자철석 등으로 구성되어 있다. 현무암층의 두께는 20~140 m 정도로 알려져 있다(공업출판사, 1990; Geology of Korea, N. Korea, 1996).

### 3. 알칼리 교대작용

호암산 관입암체내에는 후기 마그마 단계에서 수반되는 알칼리 교대작용에 의해 형성된 알칼리 교대암이 발달되며, Nb-Ta광상을 형성하고 있다. 알칼리 교대작용은 관입암체의 중심으로부터 외곽으로 potassic-, sodic- 및 silicic-교대작용의 분화단계를 보여준다. 교대암은 관입암체의 남쪽 가장자리를 따라 넓은 띠모양이나 또는 구조방향을 따라 불규칙한 맥상이나 렌즈상으로 발달하고 있다.

#### 3.1. K-교대작용

K-교대작용(미사장석화)에 의해 형성된 교대암은 미사장석암과 미사장석-휘석 섬장암(반상휘석-엘바이트암)으로 구별되며, 주구성 광물로는 미사장석, 엘바이트, 휘석, 각섬석, 흑운모 및 석영 등이고, 부성분 광물로는 자철석, 티탄철석 및 휘수연석 등으로 이루어져 있다.

#### 3.2. Na-교대작용

Na-교대작용(휘석화)에 의해 형성된 교대암은 휘석-엘바이트암으로, 엘바이트, 미사장석, 휘석, 각섬석 및 석영 등으로 구성된다. 이 교대작용으로 인해 알칼리 각섬석은 알칼리 휘석으로 그리고 미사장석은 엘바이트로 교대되었다. 교대작용은 석영-각섬석-휘석 섬장암과 각섬석-휘석 섬장암내에서 더욱 강하게 진행되었다. 교대작용은 관입체 주변부에서는 구조면을 따라 접촉부와 평행하게 교대작용이 진행되었으며 안쪽에서는 반정상 혹은 가는 줄기모양으로 불규칙하게 진행되었다.

#### 3.3. Si-교대작용

Si-교대작용(석영화)에 의해 형성된 교대암은 석영-휘석-엘바이트암으로, 엘바이트, 미사장석, 휘석, 각섬석, 석영 및 흑운모 등이 주구성 광물이다. 형성된 교대암 내에는 함 Nb-Ta과 Zr 광물들이 다량 산출되는 부광대가 형성되어 있다. 교대작용은 섬장암의 구조면을 따라 진행되어 세맥 또는 렌즈상으로 발달하고 있으며,

**Table 1.** Chemical compositions of major(wt.%) and trace(ppm) elements for the original and metasomatic rocks.

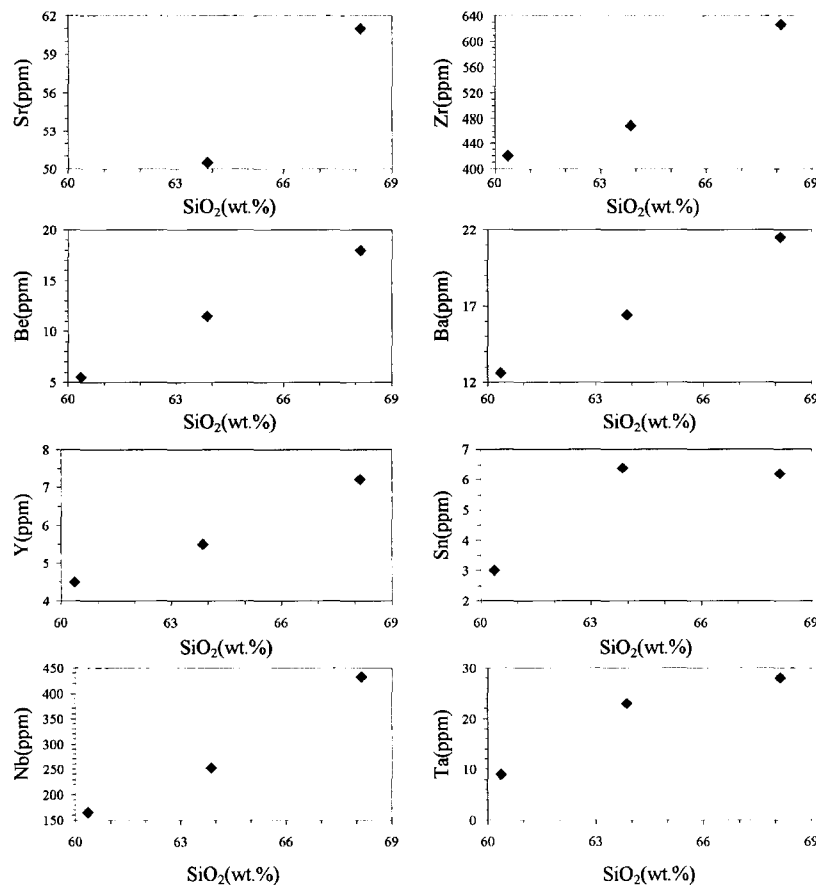
	Original rock	Metasomatite		
		K-	Na-	Si-
SiO <sub>2</sub>	55.74	60.36	63.86	68.13
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.38	0.36	0.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.34	15.32	13.53	12.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.65	8.82	8.22	8.45
FeO	2.91	2.21	1.30	2.10
MnO	0.09	0.07	0.06	0.13
MgO	1.39	0.37	0.38	0.29
CaO	1.30	0.80	0.85	0.62
Na <sub>2</sub> O	6.19	7.70	7.38	5.80
K <sub>2</sub> O	6.09	4.45	3.45	3.50
Nb	45.0	166.0	253.0	433.0
Ta	-	9.0	23.0	28.0
Ce	20.0	35.0	25.0	26.0
Y	4.5	4.5	5.5	7.2
La	20.0	29.0	31.0	29.0
Sn	4.0	3.0	6.4	6.2
Be	8.3	5.5	11.5	18.0
Ba	14.0	12.6	16.4	21.5
Sr	15.0	-	50.5	61.0
Zr	7.3	420.0	470.0	627.0

미사장석과 엘바이트를 교대하고 있다.

알칼리 교대암류의 화학분석결과를 살펴보면, 교대작용이 K→Na→Si로 진행됨에 따라 주성분원소인 Si와 Ti의 함량은 증가하고, Na, Al, K 및 Ca 등은 감소하는 경향을 보여준다(Table 1; 공업출판사, 1990). SiO<sub>2</sub>(wt.%) 함량 변화 즉 교대작용의 진행단계에 따라 미량 원소의 함량에서 증가하는 경향을 보여주며(Fig. 2), 이는 관입암체의 외곽부에 부광대가 형성되었음을 반영한다.

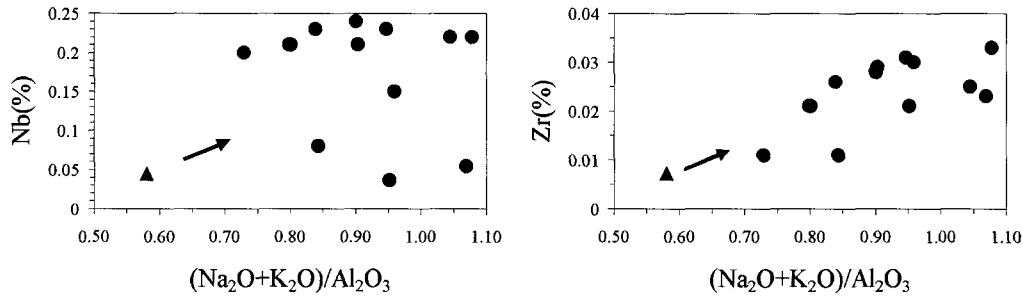
#### 4. 광상개요 및 광석광물 특성

압동광상은 후기 마그마 단계에서 수반되는 알칼리 교대작용에 의해 형성된 교대암에서 발달하는 Nb-Ta 광상으로 호암산 관입암체의 남쪽 가장자리에 위치한다. 압동광상의 주광체인 해방광체는 연장 약 4km, 심부연장 200m 및 두께 평균 250m가 확인되었고, 추정매장량은 약 2억 6천만톤으로 평균품위는 Nb 0.1%, Ta 0.01% 및 Zr 0.4%로 조사되었다. 광산측으로부터 제공

**Fig. 2.** Harker's diagram composite of trace elements with SiO<sub>2</sub> content for alkali metasomatites.

**Table 2.** Chemical compositions of major(wt.%) and trace(%) elements of the ore from the Apdong deposit.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	62.41	60.42	62.95	59.45	61.05	61.07	58.66	62.28	59.88	61.75	61.10	60.71	62.32
TiO <sub>2</sub>	0.52	0.74	0.17	0.62	0.39	0.41	0.69	0.48	0.67	0.46	0.42	0.41	0.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.56	10.90	15.32	10.84	12.56	13.40	10.60	14.48	11.73	14.12	12.87	12.67	14.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.30	13.36	7.17	14.90	11.86	10.62	14.87	8.34	12.81	9.26	11.03	11.68	8.62
MnO	0.22	0.19	0.08	0.41	0.22	0.24	0.34	0.24	0.31	0.22	0.22	0.26	0.09
MgO	0.50	0.34	0.06	0.48	0.19	0.21	0.72	0.55	0.69	0.21	0.27	0.21	0.57
CaO	0.64	1.46	0.47	0.91	0.99	0.89	1.10	0.78	1.03	0.79	1.07	0.94	0.80
Na <sub>2</sub> O	7.55	9.39	5.95	8.06	7.96	7.84	7.39	7.28	6.99	7.51	7.30	8.02	7.32
K <sub>2</sub> O	3.79	2.00	6.97	3.53	3.99	4.22	4.04	4.28	4.26	4.33	4.33	3.98	4.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.06	0.01	<0.01	0.01	0.03	0.14	0.09	0.14	0.04	0.08	0.03	0.09
Ig.loss	0.95	0.49	0.51	0.26	0.43	0.56	0.82	0.63	0.99	0.75	0.77	0.61	0.68
Nb	0.200	0.220	0.080	0.054	0.036	0.240	0.220	0.210	0.15	0.230	0.210	0.230	0.210
Zr	0.011	0.025	0.011	0.023	0.021	0.028	0.033	0.021	0.03	0.026	0.029	0.031	0.021



**Fig. 3.** (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb-Zr diagrams showing the extent of alkalic trends. Solid triangle; original rock, solid circle; metasomatic rocks.



**Fig. 4.** Representative specimen of the ore showing the aegirine occurrence(dark gray) from the Apdong deposit.

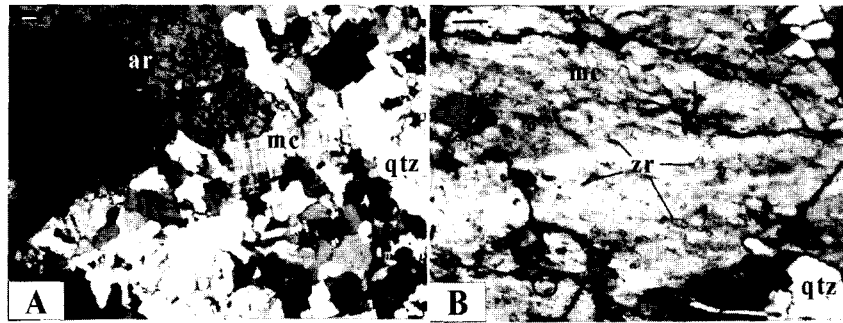
된 광석시료를 대상으로 Atomic Absorption Spectrometer에 의한 분석결과를 살펴보면, Nb 0.036~0.24% 및 Zr 0.011~0.033%의 높은 품위 변화를 보여준다 (Table 2). Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>비에 대한 Nb와 Zr의 함량에서 정(+)의 상관관계를 보여주는데(Fig. 3), 이는 광화작용이 알칼리성 용액의 교대작용에 따른 특성을 반영하는 것으로 사료된다.

광체를 형성하는 교대암은 석영, 미사장석, 정장석, 엘바이트, 소다각섬석(arfvedsonite) 및 이지린(aegirine) 및 소량의 흑운모 등의 조암광물과 주요 유용광물인 파이로크롤과 저어콘을 비롯하여 극소량의 콜럼바이트

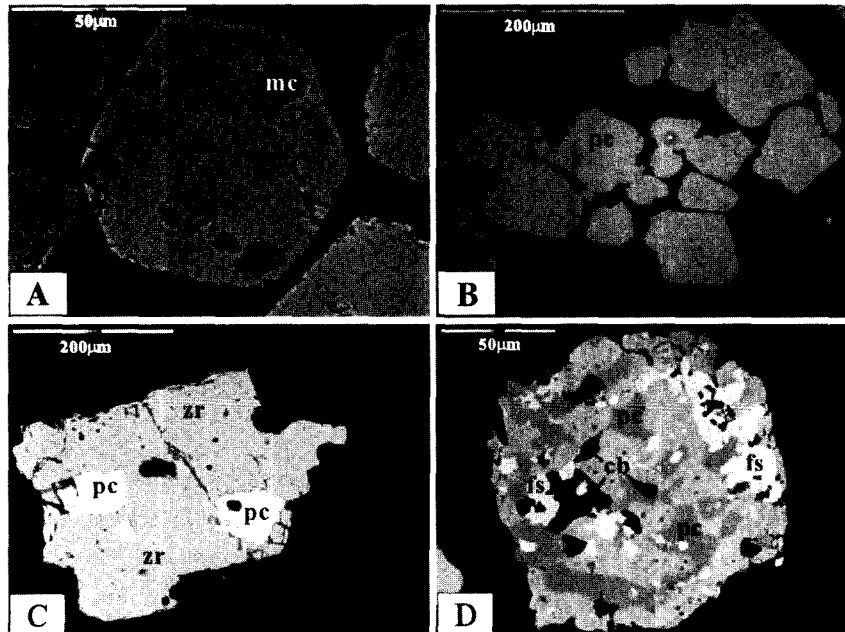
(columbite), 퍼규소나이트(fergusonite), 자철석, 형석, 휘수연석, 티탄철석, 티타나이트, 인회석 및 모나자이트(monazite) 등의 부속광물로 구성된다(Figs. 4, 5 and 6).

녹색내지 암녹색의 이지린은 주상, 침상 및 주상의 쇄설성 입자로 장석류와 소다각섬석과 밀접하게 공생하며, 입자내에 포유물 형태로 저어콘과 파이로크롤이 산출되고 있다(Fig. 5). 이지린 입자의 벽개면이나 절리면을 따라 발달하는 철산화물에 의해 갈색변질을 이루기도 한다. 입자의 크기는 약 1cm 이하부터 그 이상 되는 것도 관찰된다. 광체내 이지린의 발달은 Na-교대작용이 강하게 이루어졌음을 반영한다. 암녹색내지 흑색의 소다각섬석은 주상 또는 각주상의 결정으로 흑운모, 석영, 이지린 및 엘바이트와 공생하며 산출된다. 또한, 입자내에는 파이로크롤, 저어콘 및 장석류 광물이 산점상이나 포도상으로 발달하고 있다.

주로 광석의 우백질 부분에 산점상으로 분포하며 작은 자형의 입자로 산출되는 파이로크롤은 Nb, Ta, 희토류 및 방사성 원소 등이 농축되어 있는 광물로서 다양한 산출 특성을 보여준다. 조암광물과는 공생관계를 보여주지는 않지만, 미사장석, 엘바이트, 흑운모, 티탄철석 및 저어콘 등이 작은 포유물 형태로 관찰되거나 티탄철석, 저어콘 및 규산염 광물내에 파이로크롤이 포유물로 산출되기도 한다(Fig. 6). 투명내지 반투명 또



**Fig. 5.** Photomicrographs of the ore from the Apdong deposit. (A) Aegirine(ar) coexisting with microcline(mc) and quartz(qtz). (B) The coexisting microcline and quartz with inclusions of zircon(zr). Bar scale equals 0.1 mm.



**Fig. 6.** Photomicrographs of the mode of pyrochlore(pc) from the concentrate of the Apdong deposit. (A) The cuboctahedral pyrochlore crystal with the orbicular inclusions of microcline(mc). (B) Euhedral grains of pyrochlore in a matrix of K-feldspars(K-fd). (C) The intergrown zircon(zr) and arfvedsonite(af) with inclusions of pyrochlore. (D) Columbite(cb) and fergusonite(fs) replaced by pyrochlore.

**Table 3.** Electron microprobe analyses of pyrochlore from the Apdong deposit.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58.01	51.05	53.37	65.47	58.12	62.35	60.86	56.92	54.84	62.49
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.71	9.11	8.43	5.64	0.00	0.00	0.00	8.06	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	3.53	4.21	3.32	4.61	4.34	4.17	4.27	3.68	4.50	5.48
ThO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00
UO <sub>2</sub>	9.15	7.83	8.59	3.19	2.89	3.65	3.83	4.36	6.26	3.73
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00	1.91	2.74	1.78	0.00
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	2.14	1.15	2.92	2.29	4.54	3.65	6.17	3.19	1.41
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	1.25	1.77	1.84	1.87	2.29	0.00	0.00
CaO	7.61	7.88	7.32	11.41	11.12	8.97	8.04	4.49	8.22	14.65
SrO	5.96	4.93	6.96	3.55	1.62	0.00	3.48	4.56	0.00	0.00
BaO	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	10.16	8.36	7.67	7.62	9.14	9.50	8.20	9.41	5.12	5.78
F	3.23	3.77	4.39	0.00	4.77	5.55	4.44	0.00	7.82	6.02
O=F	1.36	1.58	1.84	-	2.00	2.33	1.86	-	3.28	2.53

는 불투명하게 산출되는 파이로크롤은 주황색, 노란색 내지 적갈색, 암갈색, 회색 및 흑색 등의 색상을 보여 준다. 러시아 광상학연구소(IGEM)에서 수행된 파이로크롤에 대한 전자현미분석 결과, 뚜렷한 규칙성은 관찰되지 않지만, 다양한 화학조성의 변화를 보여주는데, 이는 (1) 부화된 Ta, U 및 Ce, (2) 낮은 함량의 Ta 및 F, (3) Th 또는 Ba의 부화 등으로 특징된다(Table 3). 콜럼바이트는 드물게 산출되는 광물로서 저어콘, 석영, 엘바이트 및 소다각섬석 등과 공생관계를 보여주며, 페규소나이트를 교대하고 있다. 페규소나이트는 콜럼바이트와 함께 파이로크롤에 의해 교대되고 있다(Fig. 6).

저어콘은 광상에서 파이로크롤 다음으로 주요한 유용광물로서 각추형상(bipyramidal)의 결정형으로 산출되며, 주상의 입자들이 미사장석, 석영 또는 유색의 규산염 광물내에서 작은 포유물로 존재하기도 한다(Fig. 5). 투명내지 반투명의 저어콘은 연분홍, 담갈색 및 회색 또는 무색의 색상을 보여주며, 독립적으로 산출되기도 하지만, 조암광물 및 파이로크롤과 밀접하게 공생하며 산출되고 있다(Fig. 6). 즉, 장석류나 유색의 규산염 광물들이 큰 입자의 저어콘 입자내에서 작은 포유물과 타형의 입자로 관찰된다.

티타나이트는 흑운모, 이지린, 엘바이트 및 자형의 인회석과 밀접히 공생하며 티탄철석에 의해 교대되고 있다. 티탄철석의 결정 크기는 보통 1.0~3.0 mm정도이며, 드물게는 5.0 cm이상도 관찰된다. 휘수연석은 알칼리 섬장암의 미세균열을 따라 산포상으로 발달하기도 하며, 크기는 1.0~1.5 mm이다.

자형의 인회석은 입자의 크기가 0.1mm 정도로, 백상이나 망상으로 또는 유색의 규산염 광물내에 미세한 포유물 형태로 산출된다. 녹색, 흑색 및 도라지색의 형석은 광염상으로 파이로크롤과 저어콘이 공생관계를 보여주며 입자의 크기는 0.1 mm~5.0 cm까지 되는 것도 관찰된다. 회토류 함유 광물인 모나자이트는 적갈색 및 황색을 띠며, 광상의 결정으로 산출된다.

## 5. 결 론

1. 압동 Nb-Ta 광상은 각섬석-휘석 섬장암, 각섬석-흑운모 섬장암, 흑운모-하석 섬장암, 흑운모 섬장암 및 석영-각섬석-휘석 섬장암으로 구성된 알칼리 섬장암류 내에 분포·발달하고 있다.

2. 호암산 관입암체(알칼리 섬장암류)내에는 후기 마그마 단계에서 수반되는 알칼리 교대작용에 의해 형성된 알칼리 교대암이 발달되며, Nb-Ta광상을 형성하고 있다. 알칼리 교대작용은 관입암체의 중심으로부터 외곽으로 K, Na- 및 Si-교대작용의 분화단계를 보여준다.

3. 광체를 형성하는 교대암은 석영, 미사장석, 정장석, 엘바이트, 소다각섬석(arfvedsonite) 및 이지린(aegirine) 및 흑운모 등의 조암광물로 구성되며, 주요 유용광물로는 파이로크롤과 저어콘을 비롯하여 극소량의 콜럼바이트(columbite), 페규소나이트(fergusonite), 자철석, 형석, 휘수연석, 티탄철석, 티타나이트, 인회석 및 모나자이트(monazite) 등이 산출된다.

4. 압동광상의 주광체인 해방광체는 연장 약 4 km, 심부연장 200 m 및 두께 평균 250 m가 확인되며, 매장량은 약 2억 6천만톤으로 평균품위는 Nb 0.1%, Ta 0.01% 및 Zr 0.4%로 보고되었다.

## 사 사

이 연구는 국무총리실의 연구비 지원에 의해 수행되는 기관고유사업 “남북한 지질자원 협력연구”에 대한 연구 결과의 일부로 이에 감사드린다.

## 참고문헌

- 공업출판사 (1990) 조선지질구성. 북한.  
 Foreign Languages Book Publishing House (1996) Geology of Korea. Pyongyang.  
 강원도 탐사관리국 평강지질탐사대 (1987) 평강 탄탈-니오븀 광상의 지질탐사보고서. 북한(미발간).

2003년 10월 15일 원고접수, 2003년 12월 17일 게재승인.