

중국의 중석광상을 근거로한 중석광상 성인 총론

문 건 주*

General Remarks of Geneses of Tungsten Ore Deposits Based on Tungsten Deposits of China

Kun Joo Moon*

ABSTRACT : Tungsten ore deposits in China show clearly their relationship between granitoids and orebodies. All kinds of different tungsten ore deposits, having the largest ore reserves in the world, occur in China. Major tungsten deposits in 1950's years were locally confined in three provinces such as Jiangxi, Hunan and Guangdong. However, the major tungsten ore deposits are replaced by new tungsten deposits such as Sandahozhuang, Xingluokeng, Shizhuan and Damingshan deposit which may be larger than the previous major deposits. Tungsten ore deposits of China exhibit obviously the granitoid was the ore-bringer to form tungsten ore deposits. The wolframite-bearing quartz veins in China indicate that tungsten mineralization took place by crystallization of wolframite preferentially unless Ca^{++} was introduced from outside into the magma-origin-fluid, since it is understood that the scheelite in the Sangdong ore deposit was preferentially precipitated, because of chemical affinity, from the tungsten fluid in which Fe and Ca ions were as sufficient as to form magnetite, wolframite and scheelite. Tungsten deposits in the world are divided into two systems; W-Mo-Sn system and W-Mo system. Most of tungsten deposits in China dated to about 196-116 Ma belong to the W-Mo-Sn system, while late Cretaceous tungsten deposits such as the Sangdong deposit in Korea belongs to the W-Mo system. The genetic order of tin-tungsten-molybdenum mineralization observed in the Moping tungsten mine in China and the Sangdong in Korea may be attributed to volatile pressures in the same magma chamber. It is assumed from ages of tungsten mineralizations that ore elements such as tin, tungsten and molybdenum might be generated periodically by nuclear fission and fusion in a part of the mantle and the element generated was introduced into the magma chamber. The periodical generation of elements had determined association, depletion and enrichment of tin and molybdenum in tungsten mineralization and it results in little association of cassiterite in tungsten deposit of late Cretaceous ages. Different mechanism of emplacement of the ore-bearing magma has brought various genetic types of tungsten deposits as shown in China and the world.

서 론

한국의 상동중석광산은 중석 매장량과 그 동안의 생산 실적으로 보아 세계적 규모의 광상으로 알려져 왔으나, 최근 중국 공산권의 개방화와 함께 경쟁력을 상실한 채 폐광하고 말았다. 개방화하기 전까지 중국의 중석자원에 대한 정보는 지극히 제한되어 상동광상의 성인을 연구하는 과정에서도 직접적인 비교 대상의 광상정보를 얻기가 어려웠지만, 최근 답사 조사된 중국 중석광상 산상의 직접적인 관찰과 함께 수집된 정보는 상동광상의 성인을 유추하기에 충분한 유사 광상의 존재로 연구 결과를 확인하는 좋은 기회를 가질 수 있었다.

북미 대륙의 중석광상과 호주 그리고 유럽의 중석광상이 보이는 모든 산상을 총망라한 중국의 중석광상은 Table 1이

보이고 있듯이 세계 중석 매장량 제 1위국답게 중석광상을 이해하기에 충분한 다양한 産狀을 보이고 있다.

저자는 직접 답사한 중국광상을 근거로 기 조사 보고된 많은 중국광상에 대한 산상을 자료를 통해 파악하면서, 기 자유진영에서 조사 연구된 주요 대표적인 중석광상의 자료와 직접 답사하여 얻은 정보를 비교·검토하는 과정에서 공통된 사실적 성인을 유추하여 보았다. 1955년도에 제 3판으로 발행된 Tungsten, 1992년에 발간된 Mineral Deposits of China, 그리고 강서성 모평중석광산 방문시 수집된 현지 자료를 근거로 본 논문은 기 조사된 중국의 중석광상에 대한 기술을 하나의 눈으로 나타난 사실을 재조명하여 중석광상의 성인을 중국의 광상을 모델로 하여 정립해 보이기 위해 작성하였다.

중국의 중석광상의 분류와 그 특징

중국의 광상학자들이 분류·소개한 중국중석광상의 대표

*한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Daejeon 305-343, Korea)

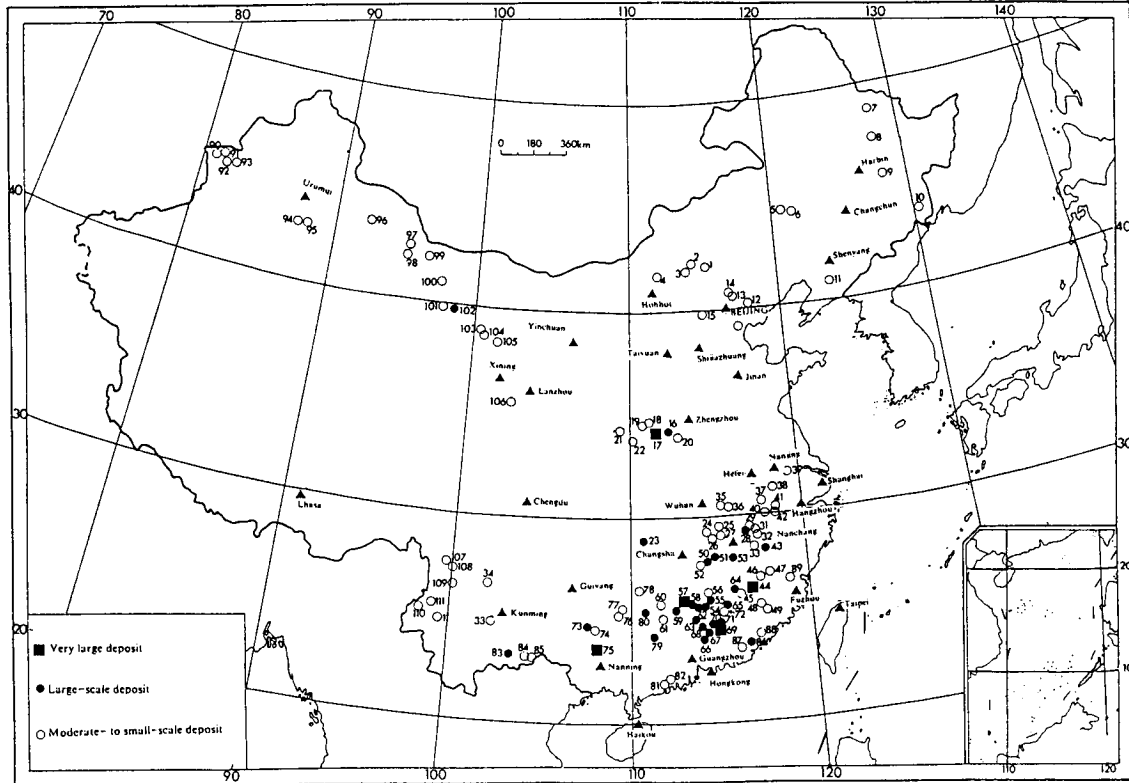


Fig. 1. Distribution of major tungsten deposits in China (after Kang, et al. 1992).

*Triangled shapes symbol name of city. Names of very large deposits and large-scale deposits are referred to the text.

적 예는 Table 1과 같다. Fig. 1에서 나타나 보이고 있듯이 중국의 증석광상은 江西(Jianxi), 湖南(Hunan), 廣東(Guangdong) 3 省에 집중 발달하고 있어 마치 우리 한반도 만한 영토에 수백개의 광산이 가해되고 있다. 저자가 답사한 모 평증석광산의 증석 금속 매장량은 9만톤이 넘는 규모이지만 Fig. 1에서 표시된 110개의 광산에 표시되지 않고 있어 대체로 그 규모를 짐작케 한다.

중국 학자들이 분류한 증석광상의 분류는 Table 1에서 표현은 달리하였으나 그동안 자유진영에서 보고된 증석광상의 분류에서 마그마기원광상과 퇴적기원광상의 관점에서 대별하였다고 본다.

증석광물은 흑증석과 회증석으로 산출되고 있는 바, 흑증석과 회증석은 언제나 석영과 밀접히 공생하고 있어 석영의 수반없는 증석광물의 산상을 상상하기 어려운 정도이다. 따라서 Table 1에서 세분된 광상의 유형에서 석영을 포함시킨 유형의 광상은 대부분 석영맥상을 이룬 광체이며 우리에게 생소한 유형은 반암 증석 광상일 뿐이다.

중국의 증석광상에 대한 조사는 대부분의 광산이 광량을

사가 정밀하게 이루어져 잠두 화강암의 윤곽도 확연히 보여주고 있다.

중국의 증석광상이 세계 전체의 증석광상을 대표할 만큼 다양한 산상을 보이고 있듯이 사실 한국의 증석광상 역시 반암형을 제외한 모든 유형을 보이고 있다; 한국의 상동광상은 스카른, 석영맥, 석영망상 등의 산상을 보이고 옥방광산은 변성-페그마타이트형 그리고 달성광산은 각력 파이프상으로, 그리고 잘 알려져 있지 않지만 서울에서 과천으로 진입되는 고개길목을 이룬 화강암에 부분적으로 배태된 흑증석은 같은 범주내에서 중국의 광상분류를 대입해 유추해 볼 수 있음을 알 수 있다. 그러나 저자가 지적할 수 있는 중국의 증석광상이 우리나라 증석광상에 비해 특이한 점은 증석광물과의 공생광물 중 우리나라의 경우 아주 드물게 관찰되지 않는 주석광물(錫石)의 공생이라 하겠다. 물론 중국의 경우도 우리의 경우처럼 W-Mo-Bi 계의 광물공생을 보이는 경우도 많이 있으며 더 많은 경우 W-Sn 계의 광물공생을 보이고 있어 이러한 관점에서의 분류의 필요성을 느끼게 한다.

Table 1. Comprehensive table of genetic types of tungsten deposits in China (from Kang, et al. 1992).

Group	Subgroup	Type	Typical ore deposit
Rock-controlled tungsten deposit	Metallogenic subgroup of granite from continental crust reformation	Granite veinlet dissemination type	Xingluokeng of Fujian, Xiatongling of Jiangxi
		Albite granite type	Dajishan of Jiangxi (No. 69 intrusive body)
		Greisen type	Hongshuizhai of Jiangxi
		Granite pegmatite type	Baishigang of Guangdong
		Skarn type	Baoshan of Jiangxi, Xintianling of Hunan
		Quartz-fluorite type	Xianghuapu of Hunan
		Quartz (feldspar) vein type	Jubankeng of Guangdong, Xihuashan of Jiangxi
		Altered breccia type	Babuling of Guangxi, Hujiajian of Jiangxi
		Breccia pipe type	Shiziya at Dahutang of Jiangxi
	Mixed crustmantle syntectic granite (diorite) metallogenic subgroup	Porphyry type	Lianhuashan of Guangdong, Yangchuling of Jiangxi
		Breccia pipe type	Taizidong and Ligongling of Jiangxi
		Volcanics type	Guangping of Fujian
	Stratabound tungsten deposit	Stratabound reworking metallogenic subgroup	Skarnoid type
Sedimentary reworking type			Woxi of Hunan
Stratabound superimposition metallogenic subgroup		Migmatite-skarnoid type	Yongreng of Jiangxi, Nanyangtian of Yunnan
		Quartz vein-skarnoid type	Ganggushan of Jiangxi, Ta'ergou of Gansu
		Quartzite-complex skarn type	Shizhuyuan of Hunan
Modern supergene tungsten deposit	Oxidation leaching type	Dabaoshan of Guangdong, Taqian of Jiangxi	
	Alluvial placer type	Fengtian of Jiangxi	

Table 2. Chemical compositions of tungsten-bearing quartz vein (from the Moping Mine).

WO ₃	1.5 %	K ₂ O	1.53 %	Na ₂ O	0.702 %
Sn	0.044 %	Bi	0.0875 %	Ca	0.3 %
Mo	0.3 %	S	0.42 %	Mo	0.3 %
Cu	0.03 %	As	0.024 %	Pb	0.0222 %
Pb	0.0222 %	Mn	0.702 %	Zn	0.702 %
SiO ₂	74.52 %	Ag	0.0017 %	Fe	1.4 %
Li	0.1 %				

기초자료의 확인답사 (답사 광산-茅坪중석광산)

중국의 개방은 우리에게 알려지지 않은 많은 자료를 제한적이거나 제시되어 광상학적 관점에서 훌륭한 야외 증거를 수집하는 새로운 창구가 개설된 셈이다.

많은 광상을 모두 살필 수 없더라도 기 입수된 자료의 일부를 확인하는 기회를 가짐으로서 정보의 신뢰도를 높이고 우리가 익혀온 사실과의 동일성을 파악하기 위해 직접 방문 답사한 모핑 석영맥상 중석광상을 요약·소개키로 한다.

모핑광산은 崇義頭 동쪽 25 km 떨어진 거리에 있다. 贛州 (Ganzhou)시로 부터는 서쪽으로 115 km의 거리에 해당한다. 광산이 속하는 행정 단위는 승의현 長龍鄉이다. 도로는 직접 공주시 또는 大余頭로 통하고 있다. 광산지역에는 큰 하

천이 남북으로 흐르며 비교적 낮은 지형을 보여 광산현장 표고는 220 m이고 가장 높은 산은 430 m이다.

시대 미상의 변성퇴적암중에 형성된 구조선을 따라 관입한 251개조의 석영맥이 흑중석과 주석을 함유하고 있어 광상을 이룬다. 그림 Fig. 2는 광산일대의 지질도이다. 지질도에서 보이고 있듯이 석영맥군은 세곳, 즉 上茅坪, 下茅坪, 高橋下에서 집중 발달되고 있는데, 가장 북쪽에 위치하는 하모핑 석영맥은 거의 동서 방향으로 발달하며 上茅坪은 북서 방향이고 고교하의 석영맥은 북동 방향으로 거의 下茅坪의 석영맥과 사교하는 방향을 보인다. 지표에 관입 암맥으로 노출된 성장암질 암맥이 사교하는 두 방향의 구조선의 발달을 암시해 주고 있다.

금번 조사시 답사한 석영맥은 下茅坪의 것으로 13개조의 석영맥중 6개조만이 현재 개발되고 있다. 석영맥 폭은 20 cm에서 150 cm까지의 다양한 두께를 보인다. 주 광석광물은 흑중석, 휘수연석, 석석, 황동석, 휘수연석과 드물게 섬아연석, 황철석, 방연석 등으로 구성되며, 맥석광물로는 석영외에 황옥, 백운모, 형석이 소량의 흑운모, 사장석, 녹니석, 방해석 등으로 구성된다. Table 2는 석영맥의 평균 품위로 광산측이 제시한 석영맥의 화학조성이다.

Fig. 3이 보이고 있듯이 석영맥은 급히 경사하고 대체로 300 m 이상의 연장성을 보이고 지표로부터 270 m 심도까지

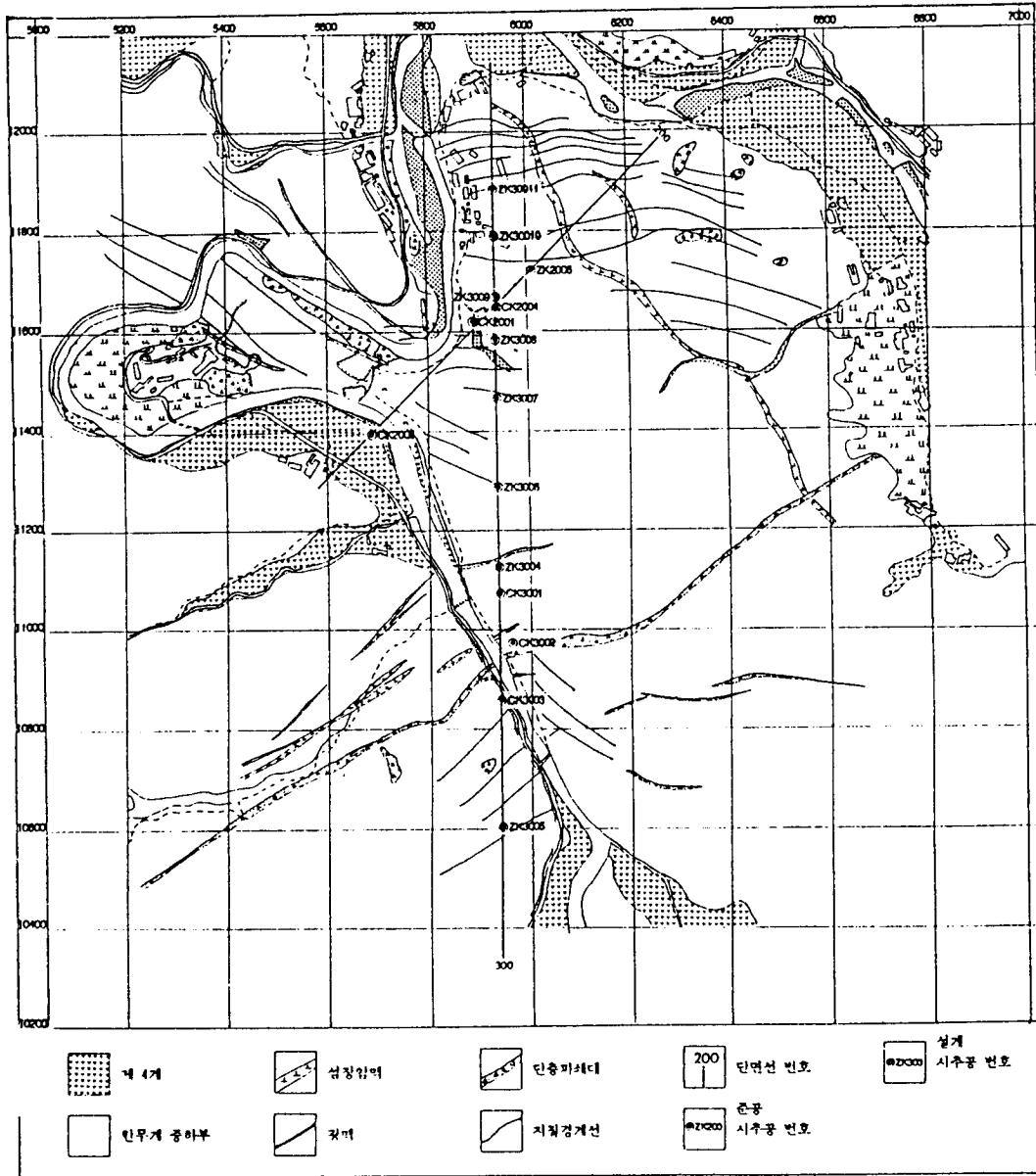


Fig. 2. Geological map of the Moping Mine, China.

발달하는 바, 갱내에서 관찰되는 석영맥 일부는 35~40° 정도의 완만한 경사를 보이기도 한다.

석영맥에 분포하는 흑중석은 대체로 거정질이며, 흔히 휘수연석을 수반하지만 곳에 따라서는 휘수연석은 석영맥중에 단일 광석광물로 나타나며 그런 경우 휘수연석은 석영맥의 가장자리에 연하여 발달하는 경향이 있다. 휘수연석과 함께 석영맥 가장자리에 농집 발달한 운모류는 zinnwaldite로 휘수연석을 수반치 않는 운모류(백운모 또는 흑운모)와는 조

혼색만을 달리하여 쉽사리 구분하기 어렵다. 심부에 화강암이 定置하고 있음은 석영맥의 근원을 충분히 이해할 수 있게 한다.

茅坪광산은 중국의 중석광상중 석영맥상 광상의 전형적인 모델로서 기 개발된 대규모의 석영맥상 중석광상을 이해하기 위한 실체를 모두 보여 주었다. 모핑광산의 석영맥의 산상은 이미 저자가 방문 답사한 바 있는 미얀마의 흑중석광산, 호주 타스마니아 아버포일(Aberfoyle) 광산, 포르투갈의 파나스쿠

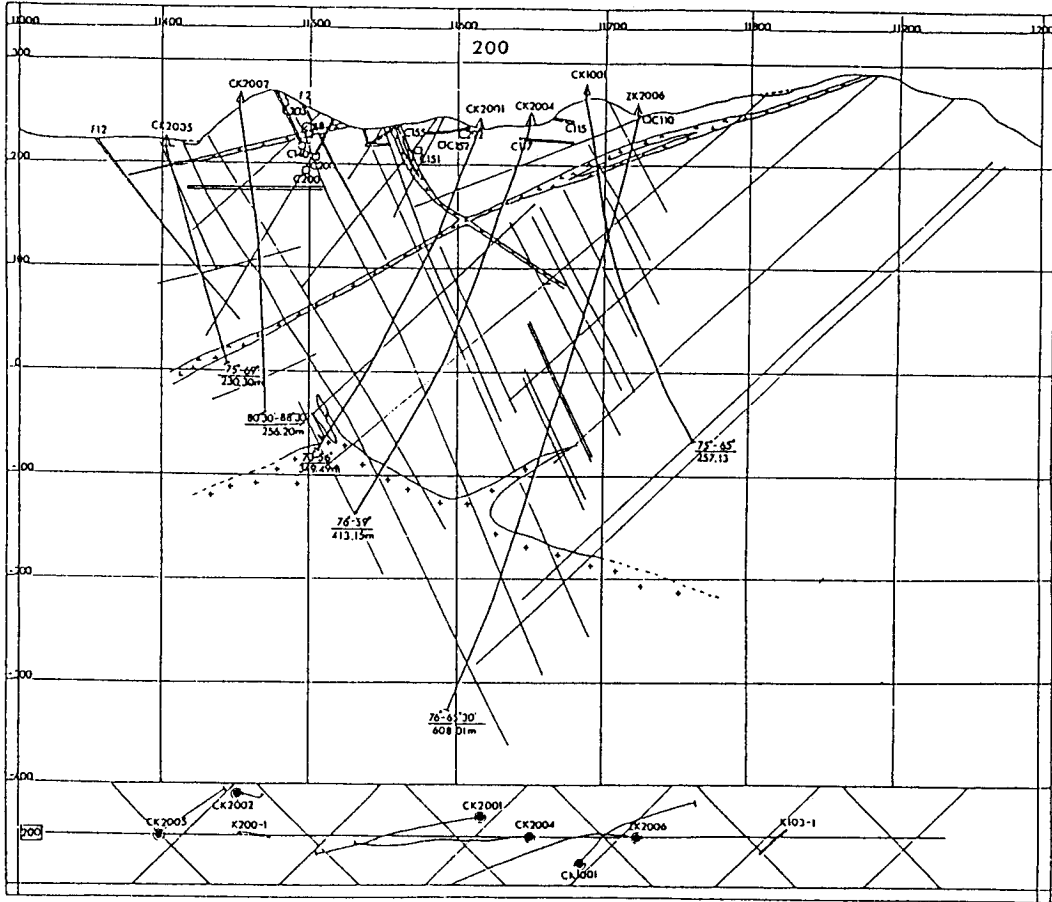


Fig. 3. Geological cross section of the Moping Mine.

에라 광산과 동일한 광상임을 확인케 했다. 한국의 상동광산에서 산출되는 함-흑중석-석영맥과 함-취수연-석영맥과도 거의 유사함을 보여 주었다. 다만 다른 점은 이미 앞에서 언급했듯이 상동 석영맥에서는 함유되지 않고 있는 석석광물이 이상 언급된 광상에서는 모두 함유하고 있다는 사실이다. 우리나라의 대화광산과 돈산광산의 중석-취수연 석영맥의 경우 석석광물이 기재되고 있어 그 양적 비는 크게 다르지만 모평광산의 중석-취수연 석영맥과 대동소이한 광물 구성을 보인다고 할 수 있다. 대화광산의 鑛化年代가 백악기로 보고있는 K-Ar 연령(박희인 외, 1985)과 중국의 유라기 화강암을 근거로한 중국 함 석석 중석 석영맥의 연대와 과연 얼마나 차이를 갖는 것인지 향후 중점적으로 연구해볼 과제를 제시해주고 있다.

중국강서성 석영맥상 중석광상 부존지역의 지질환경

실제 중국 중석광산은 70% 이상의 광상이 江西, 湖南, 廣東 3省的 경계부위인 산악지대 南嶺 산맥지대에 주로 발달하고 있다. ENE와 NE 방향의 산맥을 이룬 이 지역의 지형구조는 중국 대륙 남동부의 해안선과 비스듬하게 병행하고 있다. 수차례에 걸친 습곡을 수반한 조산운동을 받은 이 지역은 천매암이 추가된 대본기 이전의 퇴적층으로부터 대본기의 사암, 석탄기의 셰일과 석탄층, 석탄기 중반에서 페름기 중반에 이르는 석회암층, 第4紀 (Pleistocene Epoch)의 赤점토 등 지표지질을 보인다. 중생대 화강암은 주로 배사구조의 축을 이루어 관입된 노두를 보이며 부정합적으로 백악기 퇴적층이 화강암을 뒤덮고 있는 곳도 있다.

중석광상은 주요 배사구조의 중심부에 관입된 화강암과 이에 접촉된 퇴적층내에 부존한다. 고품위의 중석광상은 주로 대규모가 아닌 소규모의 화강암 노출부에 수반되어 화강암 상위부에 위치한다. 주로 석영맥상태로 산출되는 중석 석영

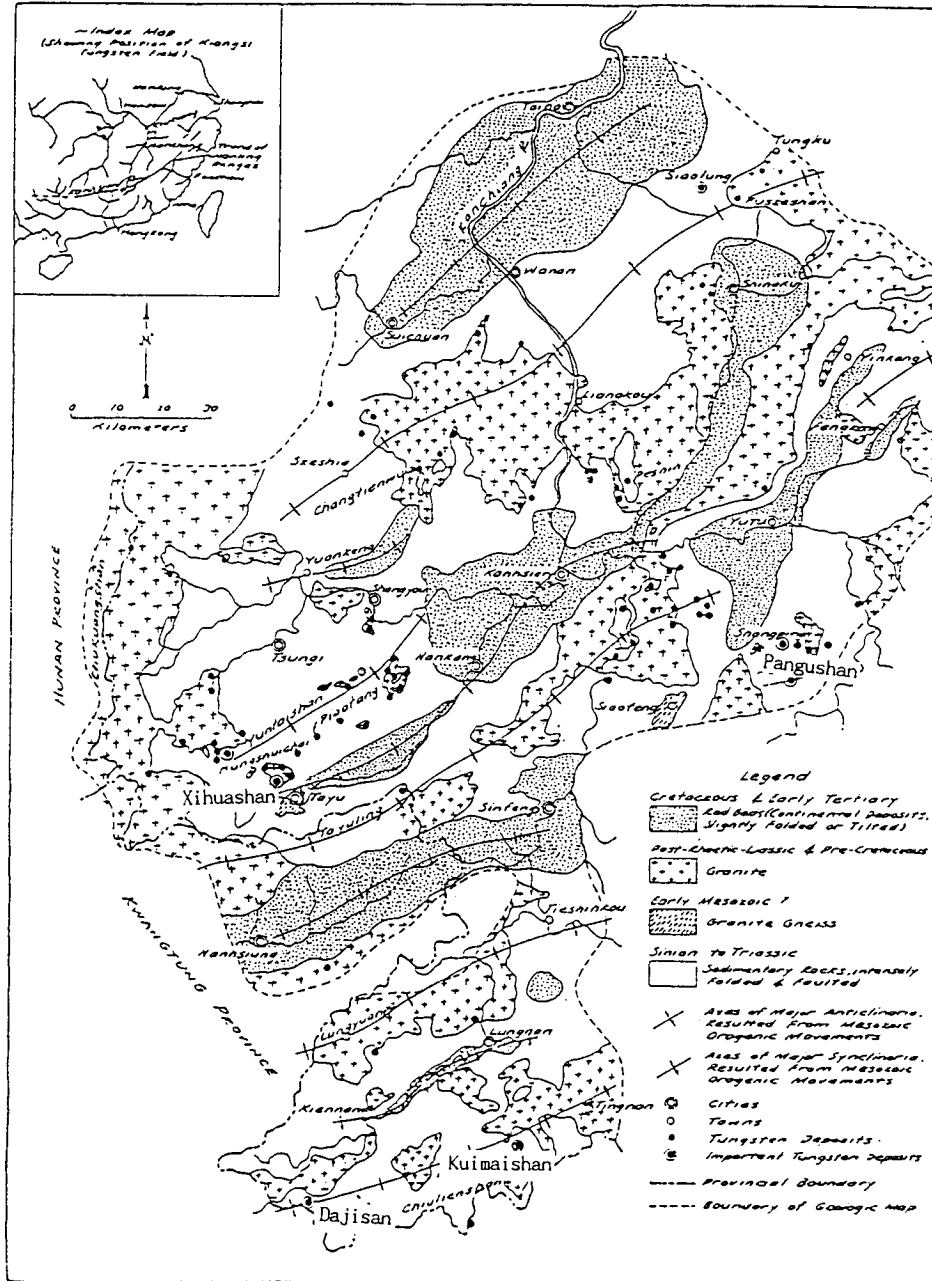


Fig. 4. Geological map of Jiangxi Province and location of major mines.

맥은 화강암내 보다 상위 접촉 퇴적암중에 더 많이 발달되어 있다. 모암이 천매암인 경우 모암내에 구조선의 발달이 미약하여 광화 유체의 상승을 저지한 곳에서는 접촉부 하위에 부광대를 형성시키며 페름기와 석탄기의 석회암이 접촉된 지역에는 스킨 광상이 발달한다.

Fig. 4는 江西省에 분포된 일부 주요 중석광산의 위치와

지질개요도이다.

중국 중석광산의 대표적 가행광산

Table 3은 1955년 자료에 의한 주요 중석광산의 매장량이 표시된 일람표이다. 이 자료는 Tungsten에서 다문 통계치는

Table 3. Tungsten reserves of China (from Li, K. C and Wang, C.U. 1995)(in metric tons, carrying 60% WO₃ ?).

Province	Tungsten Ore Reserve	Percentage in Total
Kiangsi	1,647,000	88.27
Hunan	51,000	2.76
Kwangtung	148,855	7.98
Kwangsi	17,911	0.97
Fukien	432	0.02
	1,865,798	100.00

Province	Localities	Principal Ore Minerals	Tungsten Ore Reserve	Data From
Kiangsi	Tachishan, Ch'iennan	Wolframite	104,600	K.C.Hsu
	Kueimeishan, Lungnan	"	214,600	"
	Sihyashan, etc., Tayu	"	490,600	"
	Pankushan, Anyuan	"	225,100	"
	Siaotungkeng, Tsungyi	"	46,500	"
	Changtienwu, Shangyiu	"	57,000	"
	Tiehshanlung, etc., Hueichang	"	46,900	"
	Shangping, Yutu	"	59,900	"
	Peshih, etc., Kanhsien	"	91,800	"
	Siaolung, Taiho	"	56,000	"
	Fuszushan, Hsingkuo	"	9,500	"
	Liangpichou, Suichou, Tayu	"	8,000	"
Yachishan, Tsungyi, Nanking	"	237,000	"	
Total in Kiangsi			1,647,500	
Hunan	Peyunsien, Jucheng	Wolframite	7,000	Geol. Survey of Hunan
	Yingsuiyen, Ninghsien	"	12,000	"
	Yaokang sien, Tzehsing	"	15,800	"
	Others	"	16,300	"
Total in Hunan			51,100	
Kwangtung	Shuitung, Wengyuan	Wolframite	126,000	
	Tiehtingtou, Lochang	"	22,855	
Total in Kwangtung			148,855	
Kwangsi	Limuhsiang, etc., Kungcheng	Wolframite	12,671	Geol. Survey of China
	Chuhohsiang, etc., Nantan	"	5,240	"
Total in Kwangsi			17,911	"
Fukien	Nuhushan, Putien		432	
	Total in Fukien			432
Grand Total			1,865,798	

Table 4 의 USBM의 1991년 자료 보다 현시점에서 사실에 가까운 것으로 해석된다. Fig. 1에서 표시된 광산분포와 그 규모 표시에서 Table 3에 나타낸 최대의 매장량을 기록한 Xihuashan(Sihuashan-西華山)은 다만 대규모 광산으로 표시될 뿐, 이보다 더 규모가 아주 큰 새로운 광산이 기재되고 있다. 단순한 석영맥상 광상이 아닌 화강암 자체에 망상으로 배태된 광상과 포피리 광상 등 광상형성의 근원을 잘 보이는 다양한 산상의 광상이 새로이 발견되어 개발되고 있다. 중국의 중

석광상이 세계 전체 중석광상의 산상을 대표해 보이고 있으므로 특이한 산상을 보이는 광상과 전형적인 산상을 보이는 광상을 예를 들어 요약하면 다음과 같다.

江西省의 大吉山(Dajishan) 중석광상

강서성 서남단에 위치하고 Table 3에 의하면, 중석 매장량 순위 5위인 광산으로 Tachishan으로 구 문헌에는 기재되어

Table 4. Tungsten reserves of the world (China excluded).

A - from Li, K. C and Wang, C. U. 1955.

Country	Amount Short Tons Carrying 60% WO ₃	Country	Amount Short Tons Carrying 60% WO ₃
Argentina	8,000	Mexico	1,000
Australia	27,000	Peru	9,000
Bolivia	42,000	Portugal	20,000
Brazil	42,000	Russia	30,000
Burma	84,000	South Africa	1,000
Canada	4,000	Spain	11,000
Japan	1,000	Thailand	10,000
Korea	116,000	United States	166,000
Malaya	23,000	Other Countries	1,000

B - USBM data 1991.

Country	Reserve base		
	(kt)	%	Rank
China	1,560	44.0	1
Canada	493	13.9	2
USSR	400	11.3	3
USA	210	5.9	4
Australia	150	4.2	5
Bolivia	110	3.1	6
Korea, R	77	2.2	7
Burma	34	1.0	8
Thailand	30	0.8	9
Other	481	13.6	
Total	3,545	100	

있다.

이 지역 지질은 캄브리아기의 점판암과 변성 사암으로 이루어져 있고 광산 남동쪽 단층에 의해 테본기의 사질 세일이 나타나 있다. Fig. 5가 보이고 있듯이 NE 주향에 NW 방향으로 경사하는 평행한 두 단층이 발달하고 광산 북측에는 조립-중립 반상 흑운모 화강암(암석 연령 180 Ma)이 넓게 분포하고 있으며, 광산 심부에는 중립질 復雲母 花崗岩이 定置되어 있다(평면도에서 점선으로 윤곽표시). 이 암체 화강암체는 미사장석, 석영, 사장석, 퍼사이트(perthite), 백운모, 흑운모 등으로 구성되어 있다. 주로 상부는 세립질 화강암 병반(albite-muscovite granite laccolith)을 이루어 중석-베릴륨-탄탈륨-니오비움을 함유한 광체를 형성한다. 병반은 하부는 각력대를 형성하고 중간으로 가면서 세립의 백운모 화강암을 이루나 상위부위는 페그마타이트와 같은 암상을 이루며 석영이 집중 발달하는 변성 광화작용을 받아 누대분포를 형성하였다. 니오비움은 하위부에 부화하고 탄탈륨은 상위부에 부화하면서 중석 광화작용은 상위부에서 더욱 강하게 일어났음을 보여준다.

광화된 병반은 광석광물로 다음과 같은 광물을 함유한다; 주요광물; microlite, manannibite-tantalite, 흑중석, 회중석, 녹주석
부수광물; 석석, 휘수연석, 창연석, 방연석, 섬이연석, 황석석(stannite), 황철석, 자류철석, 황동석, 유비철석
병반 광체에 배태된 흑중석과 회중석의 함량은 85:15로

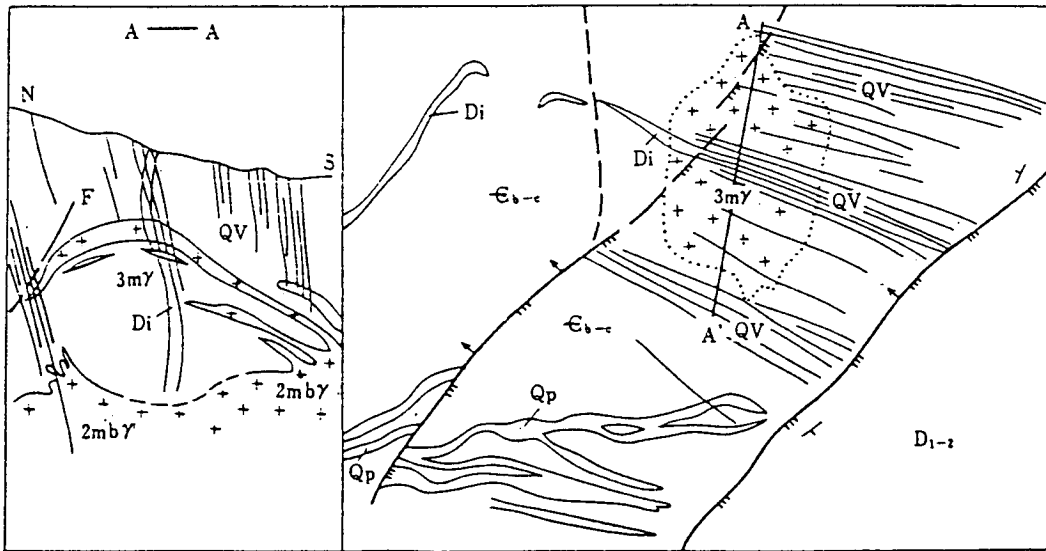


Fig. 5. Schematic geological map of the Dajishan ore deposit (after Kang, et al., 1992).

D₁₋₂=Devinian sandstone and conglomerate; E_{bc}=Cambrian epimetamorphic sandstone and slate; 3mγ=Fine-grained muscovite granite (i.e. ore body, whose projection area is shown on the plan); 2mbγ=Medium-grained two-mica granite; Di=Diorite; Qp=Quartz porphyry; QV=Tungsten-bearing quartz vein.

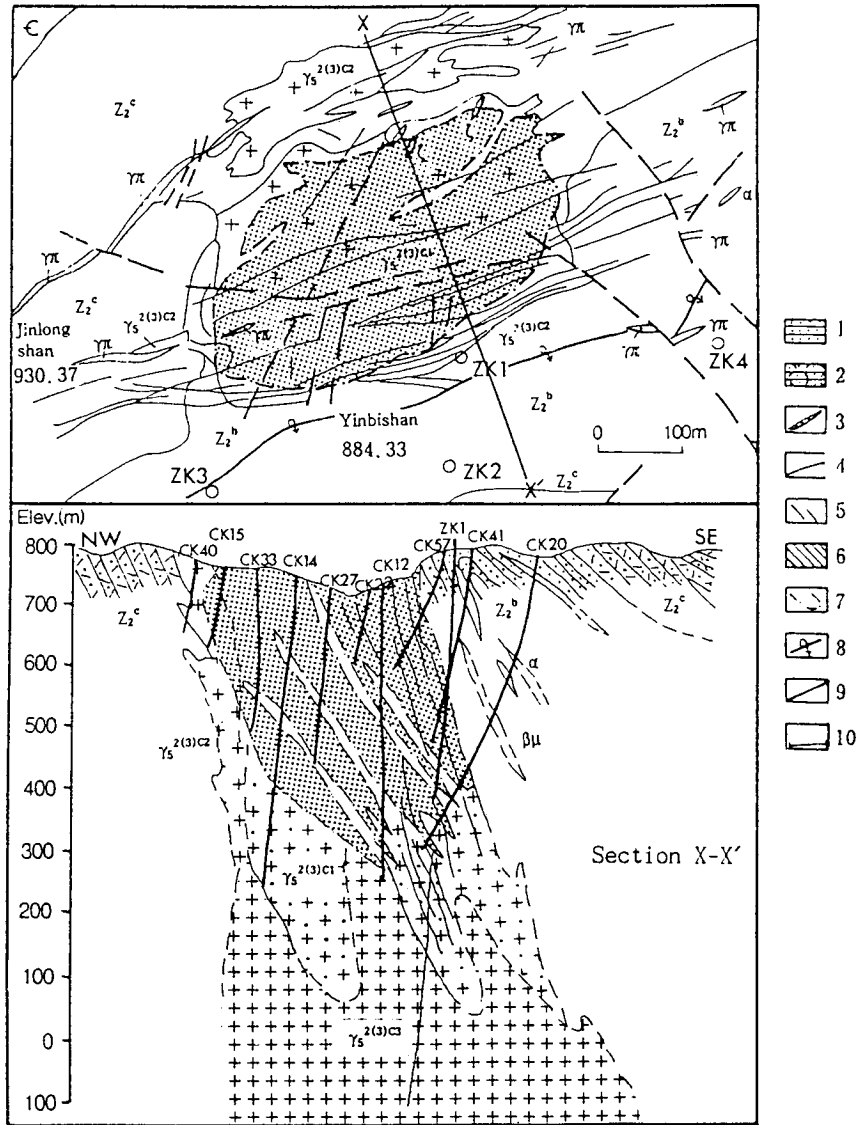


Fig. 6. Geological map and section of the Xingluokeng tungsten deposit (after Kang, *et al.*, 1992). \in = 1st Lithologic Member of Lower Cambrian; Z_1^c = 3rd Lithologic Member of Upper Sinian; Z_2^b = 2nd Lithologic Member of Upper Sinian; $\gamma_3^{2(3)C_3}$ = Fine-grained porphyritoid monzonitic granite; $\gamma_3^{2(3)C_2}$ = Finemedium-grained K-feldspar granite; $\gamma_3^{2(3)C_1}$ = Fine-grained porphyritoid monzonitic granite; γ_3 = Granite porphyry dike; α = K-feldspatite dike; ξ = Diabase porphyrite dike. Legend: 1 = Hornfelsized meta-siltstone; 2 = Hornfelsized tuffite, tuffaceous sandstone; 3 = Dolomitic limestone; 4 = Geological boundary; 5 = Ore-bearing quartz vein; 6 = Fine stockwork tungsten (molybdenum) ore body; 7 = Boundary of fine stockwork type economic ore body; 8 = Axis of overturned anticline; 9 = Fault; 10 = Location of the section.

주로 흑중석이 생산 대상이 되고 있다. 니오비움과 탄탈륨이 광물상태로 산출되는 것 이외에도 흑중석과 회중석은 물론 기타 규산염광물에 함유되어 그 함량이 전체의 23%에 달한다.

지표에서부터 노출된 석영맥은 금번 직접 답사하여 관찰한 모평광산의 석영맥과 거의 동일한 전형적인 흑중석 석영맥

광상을 이룬다. 구 문헌(Li, K.C. & Wang, C.U, 1955)에는 기재되었을 뿐 신 문헌(Kang, Y.F. *et al.*, 1992)에서는 다루어지지 않은 것으로 미루어 석영맥상 광체는 거의 채진된 것으로 간주된다. 또한, 주향 N65°~80°W, 경사 65°~80°N인 방향과 주향 N10°~25°E에 서측으로 급 경사하는 두 방향의 열극을

충전한 석영맥 광체가 기재되어 있으나, Fig. 5의 지질 평면도에는 한방향의 석영맥만이 그려 나타나 보이고 있다. 주로 흑중석과 zinwaldite를 함유하고 부수광물로 황철석, 회중석, 황동석, 전기석, 장석, 석석, 휘수연석, 창연석, 섬아연석을 함유한다. 견운모와 녹니석이 곳에 따라 관찰되며 모암은 전기석화작용을 받았다.

두개 지역으로 분류된 석영맥중 하나는 24개 평행맥으로 90 m 폭의 광화대내에 9.6 m 두께의 집합체를 이룬 석영맥은 맥폭 0.15~1.5 m로 주향 방향으로 약 650 m 연장된다. 또 하나의 석영맥군은 20개의 평행 석영맥으로 0.1~1.0 m 두께의 석영맥이 5.6 m 두께의 집합체를 이루어 270 m 폭의 광화대에 산출하고 있다. 앞에서 언급한 것처럼 평균 2.5% 흑중석을 함유한 석영맥 광체는 채진되어 최신 문헌에서는 더 이상 다루어지지 않고 있다.

福建省의 行洛坑(Xingluokeng) 鑛床

이 지역의 지층은 칼레도니아 조산운동 구조를 갖는 기저층과 부정합면을 보이면서 헤르시니언 조산운동 구조를 보이는 상위층으로 크게 구분된다. 기저층은 선크브리아기 상위의 천매암, 변성-석영사암, 결정질 석회암(대리석), 변성-퇴적 응회암, 규장암(felsite), 응회질 사암 그리고 캄브리아기 하위의 변성-석영사암, 천매암, 미사암(siltstone)으로 구성된다. 광상은 기저층의 선크브리아 상위암층 중에 주로 배태되어 있다.

燕山지각변동의 결과로 해석되는 Hayuan-Ruijin Shaowu 단층은 NE 방향의 주구조선대를 이루어 이 지역의 지층 응기와 이동을 과생시켰다. 다시 여기에 ENE 방향의 복합적 전복된 습곡과 ENE-, NE-, NW-방향의 단층이 발달되어 있다. 이들 구조의 형성 시기는 전자는 칼레도니아기 그리고 후자는燕山期(Yanshanian period)로 보고 있다.

마그마 활동에 수반되어 형성된 암석으로 360.8 Ma의 칼레도니아기의 소규모의 흑운모 편마암, 260.65 Ma의 편마화강암과燕山期 화강암류가 발달하고 있다. 주로 NE 방향의 단층대에 국한되어 발달하고 있는 行洛坑 화강암은 186.8~142.8 Ma 주라기 즉燕山 초기에 관입된 것으로 보며, 가장 흔한 화강암류로 흑운모 몬조나이트 화강암, 화강암, K-장석 화강암을 들 수 있는데 이들은 대체로 Al이 과포화되고, Si가 높고 알칼리가 많은 화강암류를 이룬다. 이들 화강암류가 관입체를 이룰때 W, Sn, Mo, Bi와 같은 비철원소와 희유원소 Nb, Ta, Li, Rb를 비교적 많이 함유한다.

본 광상의 화강암류는 기저층에 정착된 하나의 암주와 수많은 맥암으로 구성되어 있다. Fig. 6의 지질도가 보이고 있듯이 암주는 ENE 방향을 주축으로 하는 타원형을 이루어

약 0.13 평방킬로미터에 걸쳐 노출되면서 지표의 모암에 의해 북과 남으로 갈라진 채 나타나 있고 하부에서는 하나의 암체를 이룬다. 북쪽과 남쪽의 모암과의 접촉은 급경사를 이루어 SSE 방향으로 경사한다. 화강암류는 남쪽암체를 이룬 중-세립질 반상 흑운모 몬조나이트 화강암, 북쪽암체를 이룬 세-중립 K-장석 화강암 그리고 잠두암체를 이룬 세립 반상 몬조나이트 화강암으로 三大分이 된다. 남쪽암체의 K-Ar 연령과 Rb-Sr 연령은 각각 155 Ma와 145.6 ± 12 Ma 이고, 북쪽암체는 Rb-Sr 연령으로 147 ± 12 Ma, 잠두암체는 143.5 ± 3 Ma로 주라기 중-후기 즉燕山期 초기에 해당한다. 맥암류는 ENE 방향으로 화강암체의 안쪽에 분포하는 화강반암, 세립질 화강암, 반화강암, K-장석 diabase(휘록암) 반암, 섬록암의 맥암류가 ENE 방향으로 분포하고 있다. 이들은 마그마의 관입진화기에 이들로부터 유래하여 형성된 것으로 보며 광상형성과 가장 밀접한 관계를 갖는 화강암류는 잠두암체인 반상 몬조나이트 화강암으로 보고 있다. 본 광상에 나타난 복합 화강암은 동위원소 연구 결과를 근거로 Sial 지각의 재응용 마그마에 의해 형성된 것으로 추정되며 특히, 잠두 화강암체가 광상생성과의 관계를 갖는다고 보고 있다.

본 行洛坑(Xingluokeng) 광상은 세가지 유형의 광체로 분류된다.

망상(Stock) 중석(몰리브덴) 광체

광상을 배태한 많은 세맥과 광화된 모암으로 이루어진 광체로 일부가 변성암대로 뺀친 남쪽암체의 상위부에 나타나 있다. 평면상에서 타원형을 이루고 측면상은 췌기형을 이룬다. 광체의 길이는 636 m, 폭은 평균 159 m, 심도 연장은 525 m에 달한다. 광체의 방향은 ENE, 경사는 $60 \sim 70^\circ$ SSE 이어서 대체로 암체의 자세와 기본적으로 일치한다.

망상은 열극과 압쇄대에 의해 형성된 것으로 복합화성암체의 안쪽에 모두 발달하고 있는데, 모암보다는 화성암체에 더 많이 발달되어 있다. 특히 화성암체 내에서도 지표 접촉면에 가까이에 망상 세맥은 집중 발달을 보인다.

망상 세맥은 모두 석영맥으로 1~100 mm 폭을 가지며 대체로 4 방향, ENE, NNW, NE, NW으로 이중 ENE 방향이 가장 우세하다. 경사는 거의 $70 \sim 80^\circ$ 로 아주 급경사를 보인다. 세맥 발달의 밀도는 장소에 따라 다르나 대체로 광체내의 세맥발달은 m 간 20개 이상의 맥이 밀집되어 있다.

망상 중석광체를 이루는 석영세맥과 변질화강암 그리고 모암은 모두 광석광물을 배태한다. 세가지 양상의 석영맥은 다음과 같다;

황화물-흑중석(회중석) 석영맥 / 흑중석(회중석)석영맥 /
(주로 ENE 방향) (주로 NNW 방향)

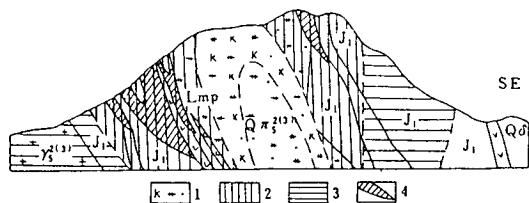


Fig. 7. Alteration zoning of the Lianhuashan tungsten deposit (after Kang, et al., 1992).
1=Potassic alteration zone, 2=Quartz-mica zone, 3=Propylitization zone, 4=Orebody.

휘수연석-회중석 석영맥
(뚜렷한 방향성 결여)

광석의 조직에 따라 세망상, 평행 세맥, 산포 세맥으로 분류될 수 있다.

광석광물은 흑중석, 회중석, 휘수연석을 주로 하고 황철석, 황동석, marmatite, 유비철석, 창연석, 천연 창연, 녹주석, 석석을 포함하며 맥석광물은 석영, 사장석, K-장석, ankerite, 흑운모, 백운모, 형석등으로 구성된다.

광석의 중석 품위는 대체로 균일하나 0.1~0.30% WO₃ 범위내의 변화를 보여 평균 0.233% WO₃를 갖는다. 흑중석은 광석 중석 품위의 55.82%를 차지하고 회중석은 49.18%를 차지한다. 휘수연석의 산출률 광석의 Mo 품위는 0.0024%에 달한다.

중석(몰리브덴) 광화작용은 남쪽 암체내 세립 반상 흑운모

몬조나이트 화강암안에서 수많은 작은 광맥을 산출케 하고, 모암에 강력한 변질작용으로 광체를 형성케 하였다. 중석(몰리브덴) 광체와 그 중 부광체 부분은 잠두암체인 세립 반상 몬조나이트 화강암과 공간적으로 관계를 갖는 바, 이 암체가 돌출해 나온 지붕에 해당하는 부분은 대체로 광화작용이 집중되어진 곳을 이룬다.

망상 광체에서 광화작용의 강도는 세맥 발달의 밀도와 광석 품위가 정비례로 나타나 가장 세맥이 밀집한 곳이 가장 고품위의 광석을 이룬다. 그리고 이 망상 광체대로 큰 석영맥이 통과하는 부위에 부화된 현상을 관찰할 수 있다. ENE 방향의 맥과 NNW 방향의 맥이 교차하는 부위에서 고품위의 광체를 이룬다. 부화된 부분이 대부분 광체의 가장자리에 연하여 분포되고 있는 것은 접촉 구조와 광화의 부화현상이 관계되어 있음을 암시해 주고 있다.

대형 맥상 광체

전형적인 석영맥상 중석광체로 行洛坑 복합 암체의 안팎에서 산출되며, 남쪽 암체의 남부 반쪽과 그 측면 모암에 주로 존재하고 세망상광체와 변성암체 속으로도 들어와 있다. 석영맥이 균을 이루거나 대를 이루어 발달하고 있는 바, 이石英脈群은 ENE 방향의 주향과 경사 50~88° SSE를 보여 細網狀 광체와 그 자태는 근본적으로 일치하고 있다. 파악된 수십개의 석영맥 광체는 길이가 수십에서 500m, 맥폭은 0.1~1.4m로 심도는 45~430m에 달한다.

이 대형 맥상광체는 세 종류로 분류해 볼 수 있다. 황화

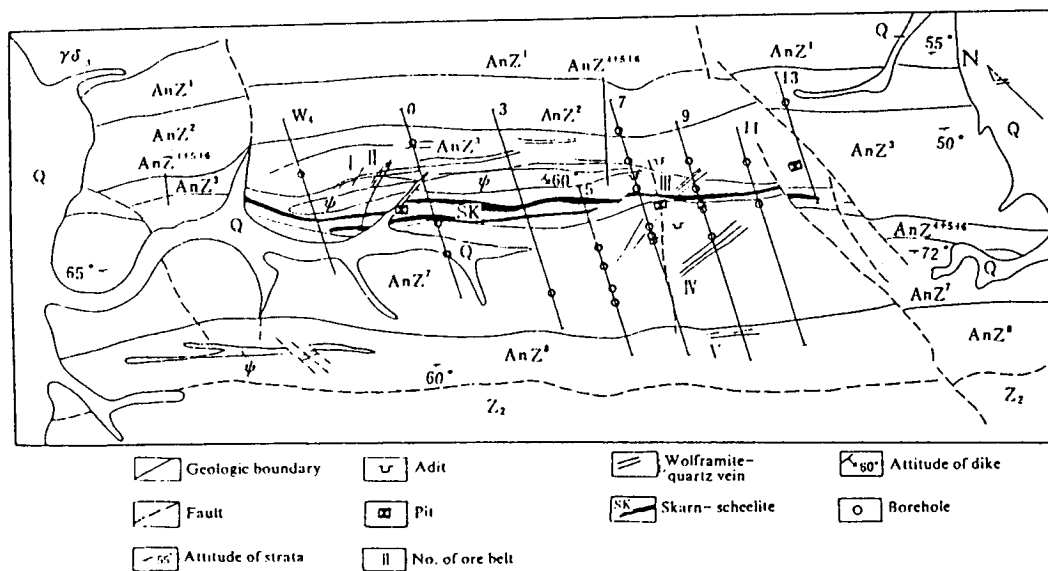


Fig. 8. Geological map of the Ta'ergou tungsten deposit (after Kang, et al., 1992).

물-흑중석(회중석) 석영맥, 함 錳石-함 베릴 흑중석 석영맥, 휘수연석-회중석 석영맥으로 분류되는 이들 중 첫번째 것이 가장 우세하게 산출된다. 이들 석영맥의 구성광물은 세망상 광체가 가진 것과 거의 차이가 없으나, 광체의 품위는 비교적 높아 평균 품위 0.557~3.279%WO₃를 보인다. 석영맥의 형태가 변하는 곳에서 흔히 광석광물의 부화현상이 나타난다. 대형 맥상광체와 세망상 광체는 동일한 광화 유체에 의해 형성된 것으로 다만 유체를 받아들이는 구조적 열극의 차이가 있었기 때문에 다른 유형의 광체로 형성된 것이다.

스카른상 광체

行洛坑 복합 화성암체가 상위 섀캅브리악기층과 접촉한 접촉대에 이루어진 광체이다. 렌즈상의 돌로마이트질 석회암과 석회질 siltstone이 forsterite-humite 스카른과 diopside-tremolite 스카른으로 교대되어 이루어진 광체이다. 이 광체에 대한 자세한 기술이 되어 있지 않지만 우리나라 상동광체와 그 주변 스카른을 이해하면 이 광체는 쉽게 파악될 수 있다.

이 스카른 광체의 주향과 경사는 대형 맥상광체가 갖는 주향 경사와 일치한다. 광체의 규모는 크지 않고 기 알려진 스카른 광체로 가장 큰 것은 연장 300 m 이상에 7.35 m의 폭을 보인다. 광석광물로는 회중석, 황동석, 자류철석, 황철석이 추가되고 주요 맥석광물로는 휘석, chondrodite, tremolite, forsterite, actinolite, Mg-rich biotite, dolomite가 산출된다. 중석품위는 균일하지 않아 0.172~0.752% WO₃의 범위의 품위를 보여 평균치로 0.524% WO₃를 갖는다.

廣東省 蓮花山(Lianhuashan) 반암 중석 광상

본광상은 동남 해안의 습곡구조에 형성된 중생대 관입-분출암대의 남쪽부위에 위치한다. 이 위치는 바로 Quinhui 단층과 Chenghai 근처의 Shiji 단층 Tong'an 단층-Changle 단층이 교차하는 부위에 해당한다.

광상을 이룬 지역은 주라기 하부 지층인 Jinji Formation에 뒤덮혀 있다. 670 m 두께의 건운모 사암과 석영 사암이 교호하는 5개 층중 맨 윗층인 두께 230 m의 석영사암이 협재하는 건운모 사암이 광상의 모암을 이루고 있다. 강한 접촉 변질작용과 열수변성작용에 의해 변성작용을 받아 변성사암으로 불리운다. 본 광상 지역에는 NE 방향의 배사구조가 발달하고 광상은 북서쪽에 발달되어 있다. NE, NW, EW 방향의 열극이 발달하여 다양한 마그마성 암체가 구조선을 따라 관입되어 있다. 석영 반암과 사암의 접촉부를 따라 과열대가 발달한다. 마그마성 암체는 석영반암, 화강반암, 석영 섬록암 반암, 폭발에 의한 각력 등으로 구조선을 따라 이들이 맥암

상태로 곳곳에 관입·노출되어 있다. 각력질암상이 반암의 가장자리를 따라 산출하고 있어, 두차례의 폭발이 있었음을 나타내 보이고 있다. 첫번째 폭발에 의해 생긴 사암과 마그마 암체의 각력이 화강암 용융체에 의해 채워져 고결되고, 두 번째 폭발은 다시 만들어진 뒤섞인 각력이 광화 유체에 의해 시멘트되어졌다. 황화광물과 흑중석이 각력을 채우고 있는 산상이 관찰된다. 이들 관입암체의 Rb-Sr 동위원소에 의한 연령은 137~135 MA로 보고되어 있다.

반상 화강섬록암이 폭발성 파이프상 각력대의 충전물로 산출된다. 암석편들은 다양한 혼펠스뿐만 아니라 앞선 반상 화강섬록암으로 구성되어 있다. 따라서 각력대는 반상화강섬록암이 마지막 관입할때 형성되어진 것으로 볼 수 있다. 반상화강섬록암의 화학조성은 아래와 같다.

석영반암의 평균 산도=낮음 (평균 SiO₂ 62.86%)

알칼리=부족함 (K₂O+Na₂O=6.85%),

포타슘=높음(K₂O>Na₂O)

알루미늄=과포화 (KNC/A=0.72<1), 철=풍부함

(평균 Fe₂O₃+FeO=7.7%)

칼슘=부족함 (CaO=1.44%)

칼크-알칼리계에 속함 (칼크-알칼리 index=5.8, Ritmann index q=2.39)

총 휘발성분=낮음 (H₂O+F+Cl+B=2.552%,

F+Cl+B=0.062%)

물=풍부함 (평균 2.49%) Cl/F 비율=비교적 높음 (0.46~1.35)

이들 암석의 암석학적 특징은 지각을 근원지로 보는 함-중석 화강암의 암석학적 특징과 아주 상이하지만 오히려 반암동 광상에 수반된 화강암류의 특징에는 유사함을 보인다.

광체를 구성한 주요 광석광물은 흑중석(ferberite), 회중석, 유비철석, 자류철석, 황철석, 황동석, 석석, 심아연석, 방연석, 휘창연석(bismuthinite), 코발타이트, 모자나이트, 제노타임, 금홍석(rutile)이 산출되며, 맥석광물은 석영, 백운모, 흑운모, 건운모, 녹니석, 홍주석, 석류석, 정장석, 인회석으로 구성된다. 제 2차 광물로는 갈철석, 고령석(kaolinite), tungstite가 있다.

광체는 광석광물의 조합에 따라 다음 세가지로 구분된다.

1) 백운모-석영-홍주석-흑중석 광체

본 광상의 상위부에 해당하는 광체를 이룬다. 흑중석과 석영을 제외하고서는 모든 광물이 규산염 광물로 황화물이 거의 보이지 않고 흑중석은 산포상으로 산출되며 홍주석과 밀접한 수반관계를 보인다. 세맥과 망상을 이루기도 한다.

2) 석영-황화물-흑중석-회중석 광체

본 광상의 상위부 중간의 모암에서 산출되는 광체에 해당한다. 흑중석-회중석은 불규칙한 망상세맥으로 주로 산출되며, 모암에는 산포상으로 배태되는 바, 이때 흑중석이 회중석보다 우세한 분포를 보인다. 황화광물이 백상 또는 산포상으로 산출되는 바, 황철석과 유비철석이 많은 곳에 흔히 흑중석이 수반되는 반면, 회중석은 황철석과 황동석에 주로 수반되어 나타난다.

3) 황화물-회중석-흑중석 광체

본 광상의 중간 아래 부위의 광체와 다양한 모암에서 주로 나타난다. 수반광물로 석영이 거의 보이지 않는 것이 특징이다. 많은 spessatine이 관찰되며 평행 세맥과 망상세맥이 공존한다. 회중석과 흑중석이 함께 산출되나 회중석이 훨씬 우세하며 모암에서도 소량이지만 산포상으로 산출된다. 중석광물은 언제나 자류철석, 유비철석, 황철석과 같은 황화물을 수반한다.

이 광상에서 산출되는 부산물은 금, 은, 코발트, 동, 창연 등이 있다. 南峯지방의 중석광상에서 비교적 풍부한 희유원소(Nb, Ta, Be, Li, Rb, Cs)가 본 광상에서는 아주 낮은 함량을 보여 그의 1/10 밖에 되지 않는다. 그러나 희토류 원소는 다른 일반 맥상 중석광상보다 10~20 배나 되는 함량을 보인다.

Fig. 7에서 보이고 있듯이, 모암의 변질작용은 본 광상에서 누대를 이루어 나타난다. K-장석화작용과 흑운모화작용은 남측광화대와 북측광화대 사이의 석영반암 안에서 일어나고 있지만 고르게 일어나지 않고 국부적으로 K-장석과 흑운모가 증가한다. 이 구역에 그라이젠화가 접촉대 안쪽 석영반암의 상위부분에 주로 일어나 석영-홍주석-흑중석 광화를 수반하고 있다. 필릭(phyllitic) 변질작용이 쇠설성 암석에 나타나 있는 바, 석영-황화물-회중석-회중석 광화작용과 밀접한 관계를 갖는다. 견운모화와 규질화 작용은 광상 전반에 걸쳐 일어나 다른 변질작용과 중복되어 나타난다. 녹니석화 작용과 황철석화 작용이 비교적 광범하게 일어나, 필릭 변질작용을 받은 바깥 측면에 비교적 강하게 나타나 있다. 탄산염화작용은 광상의 하위부분과 가장자리를 따라 국부적으로 일어났다. 위와 같은 모암의 변질작용은 다음의 세 변질대로 구분된다; (1) 칼륨 변질대(K-장석화, 흑운모화)-접촉대 안쪽 가장자리, (2) 접촉대의 석영-운모대 또는 Phyllitization 대(그라이젠화, 필릭 변질 작용, 견운모화 작용, 규질화 작용), (3) 접촉대 바깥 측면의 phyllitization 대.

접촉 변질 누대는 근본적으로 광상의 광화 누대와 상응하지만 그 폭에 있어서는 변질대가 광화대보다 더 넓게 분포하고 있다.

중국 중석자원 부존량

Table 5. Condition of ore formation in major tungsten deposits of China.

Name of Deposits	Source rock	Ages(Ma)	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Estimated depth(km)
Xingluokeng	Granite (Monzonite)	143.5	251~313	400	1.32
Dajishan	Granite	180	309		
Xihuashan	Granite	145~139	110~450	1,000~1,600	4~6
Yaogangxian	Granite	178	240~375	361~720	1~3
Lianhuashan	Granodiorite (Porphyry)	135~116	250~350		
Shizhuyuan	Biotite-granite (Porphyry)	143~196			

중국의 부분적인 개방정책은 기술정보에 있어 특히 적용되고 있는 만큼, 수집된 자료를 근거로 예상을 할 수 있을 뿐이다. 1955년 자료에서 중국의 중석 매장량은 1,865,798톤, 한국의 매장량은 116,000톤을 놓고 예상을 해보자. 물론 한국의 중석 매장량은 상동광산과 옥방광산을 합한 것으로 볼 수 있지만 실제 그 몫이 상동광산이 거의 차지하고 있는 만큼 상동광산의 매장량만으로 간주하고 비교해 볼 수 있다. 1980년에 집계된 비교적 사실에 가까운 상동광산의 총 생산량이 개광 이래 금속량으로 환산하여 118,400톤에 달하였으므로 (Moon, 1983), 중국의 매장량 역시 이에 유사한 관계 수량을 보유한 것으로 예측케 한다.

Fig. 1에서 나타내 보이고 있는 중석광산중 아주 거대한 광상으로 표시된 광상은 17(Sandaozhuang), 44(Xingluokeng), 57(Shizhuyuan), 75(Damingshan) 광산이다. 앞에서 예를 든 Xingluokeng 광상의 지질 평단면도와 광체별 평균 품위를 근거로 개략적인 계산을 해보면 망상광체(200×400×300×0.23%×3) 165,600톤, 석영맥상 광체 약 9만톤(모평광산 규모와 유사함), 스킨 광체(300×7.35×240×0.52%×3) 8,255톤 정도로 추산되어 대략 264,000톤 규모의 매장량을 계산해 낼 수 있다. 대규모 광산으로 매장량 100,000만톤 이상의 광산으로 알려졌던 Dajisan, Kuimaishan, Xihuashan, Pangushan, Yachishan이 모두 대규모 광산(두번째로 큰규모의)으로 기재되어 있고 금변 방문답사한 茅坪광산의 매장량이 약 90,000톤 이지만 보통 소규모 광산에 포함시키지 않았다는 점을 감안할 때 Fig. 1에 표시된 광산은 최소 100,000톤의 매장량을 보유한 것으로 일방적 가정을 가능케 한다.

Fig. 1에서 28-Yangchling과 86-Lianhuashan 두 광상은 우리에게 알려지지 않은 새로운 반암형 중석 광상으로 112개 광산을 10만톤 매장량으로 계산하면 11,120,000톤에 달하여 중국의 중석 매장량은 무진장이라는 어휘로 표현해도 될 것 같다.

금번 조사시 확인한 바 있지만 수 10만에 달하는 지질 조사대의 탐사활동은 30여년 동안에 새로운 중석광상을 1,860,000톤의 매장량을 확보한 1950년대의 10배 이상의 광량을 확보할 만큼 새광체를 발견한 것으로 추정된다. 중석광상을 형성케 한 근원암에 대한 확실한 파악이 신평체 발견에 크게 기여하였을 것으로 느껴진다.

중국 중석광화작용의 기원

중국의 광상의 생성조건에 대한 연구는 상당히 심도 있게 수행되어 그 생성조건이 정량적으로 광상마다 나타내 보이고 있다. 물론 한 학자가 주관한 측정 실험한 결과가 아니어서 개별간 자료의 신뢰도는 알 수 없지만 생성조건을 유추하는데 훌륭한 자료로 보아 주요 광상에 대한 조건을 요약하면 Table 5와 같다.

중국의 중석광상은 중석을 가져다 준 근원암이 화강암류를 보여줄 수 있도록 광상 자체는 물론 잠두 화강암에 이르기까지 탐광 시추를 통해 그 관계를 잘 노출시켜 주고 있다. 연산기 화강암으로 불리우는 백악기초 정지된 화강암이 대부분의 중석광상에서 확인되었고, 이들은 대부분 우백질 화강암인 반면에 유라기에 해당하는 Qianlishan 화강암은 흑운모화강암으로 기재되어 있다.

Table 5에서 나타낸 생성조건 중에서 생성연대는 한국 상동중석광상과 상당한 시간적 차이를 갖지만 생성온도는 전반적으로 상동광상에서 보이는 범주의 온도로 발표되어진 것으로 미루어 유체포유물로부터 유추된 온도이만큼 회중석이나 흑중석과 함께 정출된 석영이 갖는 유체포유물을 대상으로 상호 대비한다면 거의 유사한 온도에서 중석이 정출된 것으로 추정된다.

Table 5에서 층의 규제를 받은 광상으로 분류된 Ta'ergou 광상과 같은 경우(Fig. 8) 모암의 높은 중석 함량을 근거로 마치 우리나라 상동광상을 60~70년대 해석하려는 일부 학자들의 성인과 근사하게 퇴적기원의 중석광상으로 기술하고 있어 관심을 갖게 한다.

Yan *et al.*(1980)은 중국 중석광상과 화강암과의 관계를 도식화하여 잘 나타내 보인 바 있다. 한국의 상동광상성인 연구(Moon, 1983)에서 지적한 내용과 같이 중석의 부화대는 화강암류가 뾰족하게 돌출한 apophysis 상위에 어느 정도 거리를 유지하면서 석영맥 또는 스크린 광체를 이룬다. 중석광화작용과 관련된 화강암은 다른 일반 화강암보다 W, Sn, Nb, Ta 등을 수십배 이상 많이 함유하고 있음이 특이하고 특징적이라 할 수 있다. 한국 상동의 경우도 잠두 화강암의 시추 코어는 드물게나마 미세한 회중석 결정을 보이지만 Sn은 10 ppm 이하이고 Nb가 20 ppm 이하이어서(문건주, 1987)

Table 6. Content of tin and tungsten in Sangdong tungsten mine.

Skarn Ore body	Sn cont.	W cont.	
wollastonite skarn	1339 ppm	0.3%	Cassiterite detected by EPMA
pyroxene skarn	1213 ppm	0.35%	Non-detected
garnet skarn	413 ppm	0.4%	-
amphibole skarn	200 ppm	1.5%	-
quartz-mica skarn	26 ppm	2.1%	-

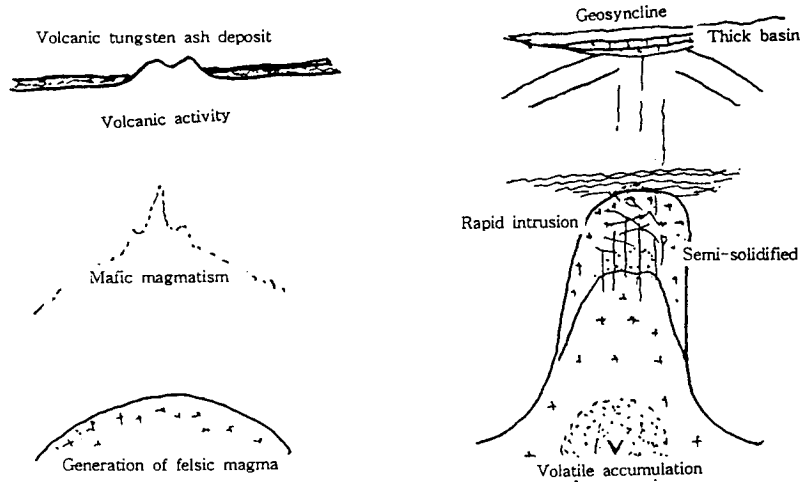
중국의 경우는 특이하다고 볼 수 있다.

토피리형 중석광상은 앞에서 예를 든 Lianhuashan 광상 외에 Yangchuling 광상이 Yan *et al.*(1980)에 의해 소개된 바, 그 광상의 반상화강섬록암은 다른 동종의 암석에 비해 훨씬 높은 W, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Co, V를 가지면서, 인접한 반암동 광상에서 산출되는 화강섬록암과 유사한 암석학적 특징을 갖는다.

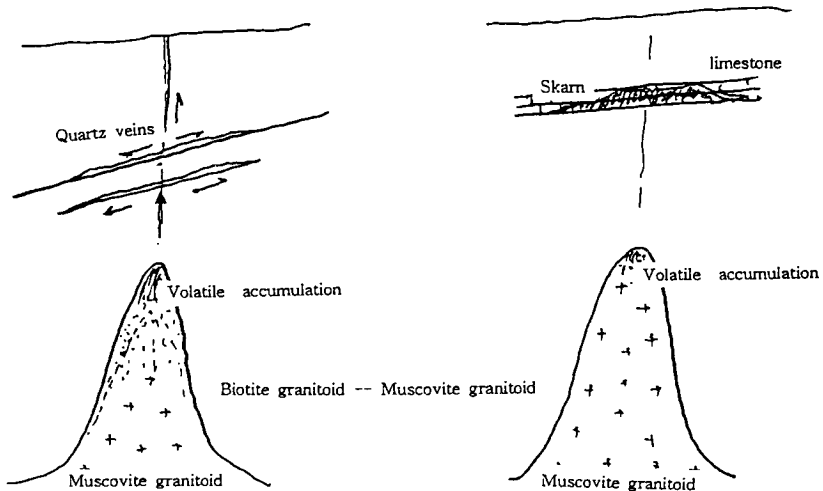
토 론

세계 중석 매장량의 75% 이상을 점유하는 중국의 중석광상은 다양한 산상으로 세계 중석광상을 대표하여 모델이 될 수 있을만큼 확연한 생성조건을 보이고 있다. 중석을 가져다 준 근원암이 우백질 화강암이 분명하다. 화강암이 유래한 근원지는 맨틀과 지각인지 여기서 거론되기 어렵다고 본다. 다만 중석광화작용과 관련된 정지시대가 대체로 6대로 구분할 수 있다는 사실에 관심을 가질 필요가 있다. 현재까지 알려진 중석 광화 연대는 340 Ma대, 290 Ma대, 180 Ma대, 140 Ma대, 80 Ma대, 60 Ma대로 분류된다(Shibata and Ishihara, 1974, Dick and Hodgson, 1982, Gray *et al.*, 1968, Levarshv, 1972, Moon, 1983). 중국의 경우 2대로 대분되는 것은 바로 중국의 燕山期 화강암과 千里山(Qianlishan) 화강암에 국한하여 중석광상이 발달되어 있다. 과연 중국 학자들이 연구 발표한 것처럼 중석 화작용이 노출된 燕山화강암과 千里山 화강암이 관여한 광화작용으로 볼때 유라기 후기와 백악기 전반은 중국의 중석광상이 형성된 기간으로 확인할 수 있다.

세계 매장량의 대다수를 차지한 중국의 중석광상이 모두 화강암과 관련된 것으로 보고 있기때문에 중석원소의 최초 공급은 맨틀이나 하부 지각에서 이루어진 것으로 추정된다. 선캠브리아기로부터 신생대에 이르는 지질시대를 통해 중석이 지각의 상위 표면부위에 광상을 이루하도록 중석이 상승된 것이 비교적 주기적이며 점차 증가하다 최고에 이르러 다시 감퇴하는 자연스런 포물선형의 분포를 보여준다. 중석과 가장 밀접한 광물이 석영이다. 두번째로 밀접히 공생하는 맥석광물은 운모류이다. 운모류와 중석과의 공생은 중국 茅坪광산의 석영맥중 휘수연석과 공생하는 zinnwaldite, 한국



(a) Generation of magmas introduced by Sn, W, & Mo periodically produced.
 (b) Rapid intrusion of magma, early solidified part of marginal magma, segregated volatiles accumulating pressures, veins of quartz and wolframite in the granitoid.
 If the magma is dioritic, it forms porphyry-type tungsten deposit.



(c) Apophysis of tungsten-bearing magma forms wolframite-quartz vein tungsten deposit in hornfelsic country rocks.
 (d) Apophysis of tungsten-bearing magma forms skarn tungsten deposit in deformed limestone beds.

Fig. 9. Various types of tungsten deposit depending on pattern of emplacement of granitoids.

육방광산의 흑운모, 상동 스킨광체중 최고 부광부의 석영-운모-회중석 광화대등에서 확실히 보여주고있다. 광석광물로 휘수연석과 석석은 중석광화작용의 산지와 생성시대에 따라 다소 달리하지만 대체로 W-Mo-S계 아니면 W-Mo 계로 중석광화작용을 2 大分한다. 상동 중석광상의 경우에서 보이고 있듯이 W 과 Mo는 회중석내에 고용체 상태로 존재할

만큼 중석과 물리는 불가분의 관계에 있다. 그러나 주석은 마치 중석 광화작용의 강약에 상대적으로 비례함을 보이는 듯한 추세를 보인다. 주라기 중석광화작용과 관련된 중국의 중석광상에서 흑중석과 석석과의 공생이 대변하고 있는 셈이다. 백악기의 광화 연령을 보이는 상동 중석광상의 경우 누대구조를 보인 스킨광체에서 지극히 미량의 석석의 신

출이 검색된 바 있을 뿐 스카른 광체의 누대구조가 형성된 열수광화작용의 진행되면서 기 함유된 주석 성분이 감퇴되었으며 흑중석 석영맥에서는 거의 주석광물의 산상이 검색되지 않았다. 상동 스카른에서 주석함량과 중석함량은 상반되는 분포를 Table 6과 같이 보인다. Table 6과 같은 현상은 두가지 사실을 가짐을 나타낸다. 첫째로 주석과 중석이 마그마로부터 휘발성 물질로 분리 상승하는 분출시기가 다르며, 둘째는 마그마 자체에 함유된 주석과 중석의 함량이 마그마에 따라 서로 다르다는 가정이다. 마그마로 분리될 수 있는 증기압의 크기가 $Sn < W < Mo$ 순이라고 가정할 경우 석석, 흑중석, 휘수연석의 산상은 잘 설명된다. 동일 마그마원의 광체에서 상동의 경우처럼 먼저 석회암을 교대한 초기 단계에 휘발압이 높은 주석이 먼저 마그마를 떠나고 중석이 분출하는 단계에서는 자연히 잔여물이 소량 남게 될 것이다. 휘수연석을 많이 배태한 석영맥에는 대체로 중석의 산출이 아주 빈약한 것은 거의 모든 중석-휘수연 광상에서 보이는 공통점이다. 중국 茅坪의 석영맥군에서도 錳石이 존재하는 석영맥에서는 흑중석이 우세하지 않으며, 거의 휘수연이 관찰되지 않는다. 드물게 휘수연이 수반되는 흑중석 석영맥에서는 석석이 드물게 기재되지만 휘수연이 우세한 석영맥에서는 석석은 전혀 관찰되지 않는다.

중국의 많은 중석 석영맥광상은 포르트칼 파나스퀘라 흑중석광상처럼 회중석을 거의 수반하지 않거나 한국 대화 중석광상과 돈산 중석광상처럼(박희인 외 1985) 흑중석과 회중석이 공생하는 두 유형을 보인다. 전자의 경우는 마그마로부터 공급된 중석 광화유체는 외부로부터 Ca 이온을 공급받지 않는 한 흑중석만을 정출시킬 수 있음을 암시해주고 있다. 마그마 유체중 Fe 이온이 W와 함께 존재할지라도 Ca 이온의 화학적 친화력에 의해 흑중석보다는 회중석이 우선적으로 정출되며 Fe는 자철석을 정출한다(Moon, 1983).

쥬라기와 백악기 두차례에 걸친 중석-주석이 많은 마그마의 형성은 하나의 동일원의 마그마 챔버로부터 발생한다고 가정하여 주석에 이어진 중석의 농집이 이루어진 주석 마그마에 후속된 중석 마그마의 발생을 가정해본다. 마그마의 貫入定置 양상에 따라 광상의 유형이 결정되는 경우에 대한 가설을 요약해보면 다음과 같다(Fig. 9);

(1) 휘발물질이 충분히 격리되기 전에 지표 가까이 상승한 마그마는 지표 가까이의 낮은 온도는 휘발물질의 분출이 불가능할 정도로 되지만 용융체로 존재할 정도의 온도로 마그마 온도를 급강하 시켜준다. 따라서 하부 심부의 마그마 만이 높은 온도에서 휘발물질의 분리가 가능하고 축적된 휘발압력에 의한 상부 고결중인 화강암체에 균열을 형성하여 분출, 망상의 중석광체를 형성한다.

(2) 마그마가 정치하여 주변 모암의 온도를 높혀주고 많은

휘발물질이 분리되어지는 과정에서 지표부의 모암이 삭박되어져 정암압이 감소되면서 모암의 구조대를 따라 광화 유체의 상승이 이루어지면 모암에 석영맥형 광상을 이룬다. 이와 같은 환경에서 마그마의 외각에 깨스를 수용하는 공간이 모암의 밀폐속에 존재할 수 있다면 페그마타이트 상태의 광상을 형성한다.

(3) 마그마와 접촉한 모암이 석회질암일 경우 스카른 광체를 형성한다.

(4) 마그마가 고철질에서 규산질로 충분히 분화되기 전에 지표 가까이 상승한 마그마는 (1)의 경우와 유사한 환경에서 자체 상부 암체에 망상 또는 산포상의 반암상 광체를 형성한다.

(5) 섀캠브리아기 화산활동중 분출된 중석회(volcanic tungsten ash)는 동시성 퇴적기원의 유립형 중석광상을 규암 상태로 형성하고 이후 지속된 변성작용에 의해 재결정작용에 의해 회중석 결정의 성장을 이루었다.

(6) 풍화와 지각변동이 심한 곳에 처한 이상의 광상이 사력으로 잔류하거나 이동하여 안정된 곳에 증적되어 이루어진 사광상의 광체를 형성하였다.

결론

중국의 중석광상은 세계 중석 매장량의 과반수 이상을 생산할 수 있는 매장량을 가짐으로 세계 중석광상을 대표하고 있다. 쥬라기 화강암이 중석광화작용의 근원암이라는 사실은 중석이 마그마 분화중 가장 뒤늦게 결정화에 참여하는 K, Na 원소군에 중석도 포함된다는 기존 가설이 입증된 셈이다. 금속 원소가 맨틀내에서 주기적인 핵 분열 반응에 의해 생성되어진다고 가정하면 중석은 지질시대에 대체로 여섯차례 맨틀중 부분적인 현상으로 중석이 발생하여 마그마 챔버에 유입되어져 이들이 지표 가까이 상승함에 따라 후속적으로 중석작용을 일으켰다고 본다. 쥬라기와 백악기 초기에 특히 중국 대륙의 남서 지괴의 하부 마그마 챔버에 가장 많은 중석이 생성되어 세계에서 제일 밀집된 분포의 중석광상을 中國江西, 湖南, 廣東 3개성에 집중 형성해하였다.

주석과 중석의 공존 역시 근원 마그마에 함유된 주석량의 다과에 따라 대체로 쥬라기와 백악기 초기에 형성된 중석광상은 주석을 흔히 수반하고 그 이후에 형성된 광상에서는 주석의 수반이 흔하지 않다. 동일 마그마기원의 중석광상이 라면 제일 먼저 주석과 중석의 함량비에 따라 주석광상 또는 중석광상이 결정되겠지만 중석이 추가되고 주석은 부산물이 될 경우 주석이 수반되는 정도는 점차 감소하는 경향을 보이고 휘수연이 수반할 경우 휘수연이 우세한 석영맥은 가장 뒤늦은 석영맥을 이루며 주석의 산출이 지극히 드물다. 동일

마그마의 경우 정출 광물의 순서가 원소의 휘발성 압력의 차이에 의거 $Sn > W > Mo$ 순으로 마그마를 떠나 광화작용에 참여하였다고 본다.

마그마에 유입된 금속원소가 핵 반응에 의해 주기적으로 차별적으로 된다고 가정하였을때 마그마의 생성도 $Sn > W > Mo$ 마그마의 순으로 생성되었을 것으로 추정한다.

증석광상의 생성에 관한 다양한 유형의 형성을 하나의 그림으로 나타내면 Fig. 9으로 요약될 수 있다.

참고문헌

Dick, L.A. and Hodgson, C.J.(1982) The MacTung W-Cu(Zn) contact metasomatic and related deposits of the northeastern Canadian Cordillera. *Econ. Geol.* v. 77, p. 845-867.
 Gray, R.F., Hoffman, V.J. and Mckinley, H.L.(1968) Bishop tungsten district, California, in J.D. Ridge(ed), *Ore deposits of United States 1953-1967*, v. 2, p. 1532-1554.
 Kang, Y.F., Miao, S.P., Li, C.Y., Gu, J.Y., Li, Y.D. and Wu, Y.L.(1992)

Tungsten deposits of China, *Mineral deposits of China*. Geological Publishing House, Beijing, China, 349p.
 Levarshev, G.B., Govorov, I.N., Strizhkova, A.A. and Grechischeva, A.P.(1972) The regional geochemistry of tungsten in Primorye. *Geochem. Inst.* v. 9, p. 279-293.
 Li, K.C. and Wang, C.U.(1955) *Tungsten*. Reinhold Publishing Corporation, New York, 506p.
 Moon, K.J.(1983) The genesis of the Sangdong tungsten deposit, The republic of Korea. Unpub. PhD thesis, University of Tasmania, 366p.
 Shibata, K. and Ishihara, S.(1974) K-Ar ages of major tungsten and molybdenum deposits in Japan. *Econ.Geol.* 69, p.1207-1214.
 Yan, M.Z., Wu, Y.L. and Li, C.Y.(1980) Metatogenic systems of tungsten in southeast China and their mineralization characteristics. *Genetic Magmatism and related Mineralization. Mining geology special issue*, No. 8, 241p.
 文建柱 (1987) 상동광산의 화강암과 태백산통내 합회증석 석영맥의 존재의의. *지질학회지*, 제 23권, p. 306-316.
 朴喜寅, 崔錫源, 金惠來 (1985) 대화 및 돈산 증석, 몰리브덴 광상의 광석과 광물공생관계. *광산지질*, 18권 1호, p.11-12.

1995년 2월 15일 원고접수