자원환경지질, 제41권, 제6호, 773-795, 2008
Econ. Environ. Geol., 41(6), 773-795, 2008

해외 금속자원에 대한 광상유형별 자료 분석을 통한 효과적인 자원개발

유봉철 · 이종길 · 이길재 · 이현구*
충남대학교 자연과학대학 지질환경과학과

The Optimal Resource Development for Analysing Data of Deposit Types' Ore Reserves of Oversea Metal Resource

Bong Chul Yoo, Jong Kil Lee, Gil Jae Lee and Hyun Koo Lee*
Department of geology and earth environmental sciences, Chungnam National University

The major import minerals of South Korea are copper ore, lead-zinc ore, iron ore, manganese ore and molybdenum ore. Oversea resources development of South Korea have 92 projects in 14 nations of Asia, 29 projects in 10 nations of America and Europe, and 14 projects in 9 nations of Middle Asia and Africa. But, most projects of them are found in Australia, China, Mongolia and Indonesia. The most projects of the Australia, China and Indonesia are interested in coal and a little projects of them have manganese, iron, lead-zinc, nickel, copper, gold, molybdenum, rare earth elements and uranium. The most projects of the Mongolia are interested in gold and rare earth elements. Representative ore deposits models of metal resources are Orogenic lode deposits, Volcanogenic massive sulphide deposits, Porphyry deposits, Sedimentary exhalative deposits, Mississippi valley type deposits, Iron oxide copper-gold deposits and Magmatic nickel-copper-platinum group element deposits based on global distribution, reverses and grades of their deposits models. If oversea mineral resources will be examined the mineral reserves, mineral mine production and ore deposits models of nations and then survey and investigate of mineral resources, we may be maintained ore body of high grade at survey area and decrease the investment risk.

Key words : oversea metal resources, ore deposits models, metal resource, reverse

우리나라의 주요 수입 광종은 동광, 연-아연광, 철광, 망간광 및 몰리브덴광 등이다. 우리나라의 해외자원개발은 아시아 14개국 92개 사업, 미주 및 유럽지역 10개국 29개 사업 그리고 중동 및 아프리카 9개국 14개 사업이 있으며 주로 호주, 중국, 몽골 및 인도네시아에서 사업수가 높다. 호주, 인도네시아 및 중국의 사업은 대부분이 석탄이고 일부 망간, 철, 연-아연, 니켈, 구리, 금, 몰리브덴, 희유원소 및 우라늄 등이나 몽골은 금과 희유원소가 큰 부분을 차지한다. 금속자원에 대한 광상 유형별 대표적인 광상형은 조산 lode형 광상, VMS형 광상, 반암형 광상, SEDEX형 광상, MVT형 광상, IOCG형 광상 및 마그마성 Ni-Cu-PGE형 광상 등이 있으며 이들 유형별 광상들은 전세계적으로 도처에 분포하며 다른 유형별 광상보다 금속자원의 매장량이 높고 부산물인 미량 금속자원에 대한 품위도 높게 나타난다. 따라서 향후 해외광물자원의 탐사 및 개발에 있어 우선 각 국가별 매장량, 주요 광물자원의 생산량 및 지체구조와 함께 광상 유형별 등을 종합 검토하여 조사 및 탐사를 실시한다면, 해외자원개발의 투자 위험도가 감소될 뿐만 아니라 탐사대상지역에서 품위가 높은 광체를 확보할 수 있을 것이다.

주요어 : 해외금속자원, 광상 유형별, 금속자원, 매장량

1. 서 언

세계는 지금 자원 전쟁이라 해도 지나치지 않을 정도로 자원 확보 경쟁이 치열하게 진행되고 있다. 이미 자원 안보, 자원 민족주의라는 단어가 낯설지 않은 시대에 접어들었다고 할 수 있다. 국내 산업계는 경제규모가 팽창되어

*Corresponding author: phklee@cnu.ac.kr

감과 동시에 날로 증가되고 있는 원료자원의 수급에 많은 관심을 기울이고 있다. 최근 들어 광물자원 값은 계속해서 고공행진하고 있다. 이와 더불어 환율상승 및 이란핵 사태 등의 여러 요인으로 수출에 비상이 걸린 상태이다. 대한광업진흥공사(현 한국광물자원공사) 및 일반기업 등에서 국내(예, 과거 폐광산 22개소 재개발) 및 해외자원개발(예, 볼리비아 꼬로꼬로 동광(추정매장량= 1억톤) 탐사 및 개발권 확보)에 의한 산업원료광물의 안정적인 확보 및 개발 성공률 향상에 최선을 다하고 있으나 아직도 우리나라는 금속자원의 상당부분을 해외에 의존하고 있는 실정이다. 실질적으로 과거 국제통화기금(IMF) 관리체제 여파로 많은 금속광산 들은 문을 닫거나 그나마 일부 가행 광산들은 외국업체에 넘어가 그로 인한 기간산업에 필요한 희유금속을 포함한 금속 원자재에 대해 수입국 정세에 눈치를 보는 실정이다. 실제로 과거 해양수산부(현 국토해양부)와 대한광업진흥공사(현 한국광물자원공사)가 국내에서 생산되지 않는 많은 동, 니켈, 망간 및 코발트 등의 수입액을 조사한 결과 국제가보다 훨씬 높은 것으로 드러났다.

이런 원인들에 의해 최근 산업자원부(현 지식경제부) 에서는 광물자원의 자급율과 인력양성에 대한 정책의 일환으로 "광물펀드 1호인 니켈개발펀드 조성" 및 "자원개발 아카데미" 등을 행하고 있으며 2006 말 우리나라에서 해외에 광물자원 사업개발에 33개국 135개 사업이 실행되고 있다. 그러나 실질적인 광물자원 개발 성공 사례는 높지 않으며 대부분이 금속자원보다는 원료자원(석탄 및 석유)에 치중되어 있는 실정이다. 여기에서 최근 언론에 소개된 "해외자원 개발 추진현황, 성과와 문제점"(Ministry of Commerce, Industry and Energy publication)을 소개하면, 참여정부에 들어와서 해외자원 개발을 집중적으로 육성하고 있지만 여전히 재원, 인프라, 광구 포트폴리오 등의 분야에서 해결해야 할 것이 많은 것으로 지적되었다. 이와 더불어 많은 선진국은 광산탐사에서 개발까지 산·학·연을 연계한 연구를 통하여 보다 효율적인 개발 및 부가가치를 올릴 수 있는 방향으로 나아가고 있지만 아직도 우리나라는 그리하지 못하고 있다.

따라서 우리나라의 금속자원 수급현황, 해외자원 개발 현황 등을 살펴보고 이를 토대로 금속자원의 전세계 매장량 및 각 국별 광산 생산량, 광상유형별 금속자원의 매장량 및 생산량 등을 소개함으로써 현재 우리가 처해 있는 해외자원 탐사와 개발에 대한 방향성을 제시하고자 한다.

2. 금속자원 수급현황

2007년도 한국의 금속자원 수급현황을 살펴보면, 국내에서 주로 생산하는 금속 및 비금속 광종은 금, 은, 티탄철광, 납석, 장석, 고령토, 규석, 규사, 규조토, 사문석, 불석, 운모 및 석회석이고 주요 수입 광종으로는 동광, 연-아연광, 철광, 망간광, 몰리브덴광, 질코늄광, 알루미늄광, 활석, 인광석, 유황, 인상흑연, 형석, 중정석, 남정석류, 백금속 및 금강석 등이다(KIGAM, 2008). 2006년도 광산물 수급현황에서 광물에 대한 국내 수요는 11조 5,425억원으로 2005년도(8조 7,548억원)에 비해 31.8% 및 2000년도(4조 4,621억원)에 비해 158.7%가 증가하였다(Ministry of Knowledge Economy, 2008). 주요 금속자원에 대한 수입물량과 금액은 각각 43,895천톤, 2,377백만불(철광), 1,458천톤, 3,295백만불(동광) 및 1,308천톤, 1,554백만불(아연광)로서 주요 광물의 국제가격 상승에 의해 외국에서 수입되는 금속자원 금액이 크게 증가하였다(Ministry of Knowledge Economy, 2008). 2007년도 각 금속자원의 수입물량과 금액현황을 살펴보면, 한국에서 수출 금속자원은 금, 은, 동광, 연광, 아연광, 철광, 텅스텐광, 몰리브덴광, 망간광, 니켈, 코발트, 크롬광 및 티타늄광이며 수입 금속자원은 금, 은광, 은, 동광, 연광, 아연광, 철광, 몰리브덴광, 망간광, 비소광, 코발트광, 크롬광 및 티타늄광으로 거의 수출/입 항목이 유사하다(KIGAM, 2008). 또한 2007년도 각 금속자원별 국내 자급비율(물량기준)은 티타늄광(75.92%)을 제외한 대부분의 금속자원의 수급율이 7% 미만으로 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이들 금속자원에 대한 국내 가행광산과 광상형을 살펴보면 다음과 같다. 금-은 생산 광산은 은산, 쌍봉, 금풍 및 용장광산이 있으며 대부분 천열수형에 해당되고 금봉, 김재, 대진, 영동, 광표사금 및 제2광표사금광산은 모두 퇴적사광상형에 해당된다. 동광 및 망간 생산 광산은 보고된 바 없다. 연-아연광 생산 광산은 금호, 삼기 및 금풍광산이 있으며 특히 금호광산은 광미처리를 통한 생산이다. 금호광산은 열수교대형이며 금풍광산은 천열수형에 해당된다(Lee *et al.*, 2007; KIGAM, 2008). 철광 생산 광산은 신예미광산이며 스카른형에 해당된다(Yang, 1991). 몰리브덴광 생산 광산은 동원 GS Moland (구 금성광산) 및 금음(구 삼율소보광산)광산이 있으며 스카른형과 열수형(광염-망상세맥)에 해당된다(Lee *et al.*, 2007). 티탄철광 생산 광산은 연천광산이 있으며 정마그마형에 해당된다(Lee *et al.*, 2007). 금속자원에 대한 2007년도 주요 수입국가를 살펴보면, 금은 스위스(32.5%), 홍콩(22.6%), 독일(18.9%) 및 호주(11.1%) 순이고 은은 일본(48.9%), 미국(21.9%), 호주(10.6%) 및 중국(9.9%) 순이다. 은광은 호주(77.8%), 미

국(22.2%)이고 동광은 칠레(38.1%), 인도네시아(19.3%), 호주(10.3%) 및 페루(9.4%)이다. 연광은 호주(55.9%), 미국(21.0%), 페루(16.4%)이고 아연광은 페루(31.0%), 호주(25.2%), 미국(15.8%) 및 볼리비아(9.5%) 순이다. 철광은 호주(60.0%), 브라질(27.5%), 남아프리카공화국(5.9%)이며 텅스텐광은 캐나다(58.7%), 중국(36.8%) 및 미국(4.6%) 순이다. 몰리브덴광은 중국(58.0%), 칠레(29.7%), 미국(5.8%)이고 망간광은 호주(54.3%), 남아프리카공화국(24.6%) 및 가봉(20.4%)이다. 안티모니광은 이탈리아(67.6%), 볼리비아(31.2%)이고 니켈은 미국(87.8%), 독일(12.2%)이다. 코발트는 대만(100%)이고 크롬광은 오만(61.3%), 중국(28.9%) 및 남아프리카공화국(6.8%) 순이다. 티타늄광은 호주(34.1%), 인도(32.8%), 남아프리카공화국(99.4%), 태국(7.8%) 및 말레이시아(7.2%) 순이다(KIGAM, 2008). 2007년도 금속자원의 수입국가와 수입률에서 보는 바와 같이, 많은 금속자원이 주로 호주, 미국, 캐나다, 중국, 남아프리카공화국, 칠레, 페루 및 독일에서 수입된다. 특히, 금은 주요 생산지가 남아프리카공화국, 호주, 중국 및 미국 등이나 주로 수입한 국가는 스위스, 홍콩 및 독일에서 수입한 금의 수입률이 74% 정도를 차지한다. 이는 산업용 수요 이외에 투자 목적으로 수입한 물량이 증가한 것으로 해석하였다(KIGAM, 2008).

3. 해외자원 개발현황

2006년말 우리나라의 해외광물자원 사업개발현황을 살펴보면 아시아는 14개국 92개 사업이 미주 및 유럽 지역에선 10개국 29개 사업이 그리고 중동 및 아프리카에선 9개국 14개 사업이 있으며 사업수가 높은 나라로는 호주, 중국, 몽골 및 인도네시아 순이다(Table 1). 년도별 신규 해외자원개발사업 개발신고 현황을 살펴보면, 2002년 12개 사업, 2003년 10개 사업, 2004년 6개 사업, 2005년 11개 사업, 2006년 24개 사업으로 급격히 증가하였다. 또한 국내기업의 해외자원개발 투자현황을 살펴보면, 2002년 0.66건수, 2003년 0.91건수, 2004년 1.31건수, 2005년 1.54건수 및 2006년 1.87건수로 증가되고 있는 실정이다. 년도별 해외광물자원개발 총예산은 2002년 643억원, 2003년 732억원, 2004년 640억원, 2005년 655억원, 2006년 880억원 및 2007년 1,367억원이다.

지금까지 지식경제부(구 산업자원부)에서 소개한 해외 광물자원 조사 및 개발 성공 사례는 다음과 같다. 페루 마르코나 동광(확정매장량 412.1백만톤) - 2006년도 12월 계약완결 및 합작법인 설립, 마다가스카르 암바토비 니켈광(확정매장량 125만톤) - 2006년도 10월 합작 계약 체결, 우즈백 잔투아르 우라늄광(확정매장량 15천톤) - 2006년 7월 예비타당성 조사 시행 계약 체결, 몽골 예르드넷 동광(확정매장량 대상광량, 정광 8만톤, 산화광 65백만톤) - 2005년 11월 한국컨소시엄 구성, 개발 및 투자 합의서 체결, 중국 북방동업 동광(확정매장량 307백만톤) - 2006년 8월 현지광산 조사 및 2006년 10월 지분 인수 양해각서 체결, 인도네시아 파시르 유연탄광(확정매장량 1,240백만톤) - 1982년부터 1993년까지 현지 법인 설립 및 탐사와 1993년 3월 생산개시(2100만톤/년), 호주 타운스빌 연아연광(확정매장량

Table 1. Projects of the oversea minerals resource

Asia		American and Europe		Middle Asia and Africa	
Nation		Nation		Nation	
Australia	21	Peru	9	Chad	4
China	21	Canada	8	Ghana	2
Mongolia	17	United States	3	Tanzania	2
Indonesia	11	Russia	2	South Africa	1
Philippines	7	Bolivia	2	Mali	1
Cambodia	4	Mexico	1	Zambia	1
Papua New Guinea	3	Venezuela	1	Cameroon	1
Laos	2	Surinam	1	Madagascar	1
Vietman	1	Costa Rica	1	Saudi Arabia	1
Thailand	1	Ecuador	1		
Burma	1				
Malaysia	1				
Uzbekistan	1				
New Caledonia	1				

Source : Ministry of Knowledge Economy(2008)

4.6백만톤) - 1996년 12월 투자 허가 획득하고 2000년에 제련소 준공 및 호주 스프링베일 유연탄광(확정매장량 180백만톤) - 1996년 2월 합작 계약 체결 등이 있다. 이들 해외 광물자원의 사례들 중 개발 성공 사례는 주로 인도네시아와 호주 뿐이며 나머지 국가들은 현재 합작법인 설립이나 탐사 단계에 있는 것 들이다.

2008년 지식경제부(구 산업자원부)에 신고된 해외광물자원개발 사업 진행 현황을 살펴보면 총 111개로 참여 회사는 82개(민간회사 = 80개, 공사 = 2개)이며 광종으로는 석탄, 금, 동, 철, 망간, 주석, 우라늄 및 연-아연 등이며 국가로는 호주, 인도네시아, 몽골, 중국, 키르키즈스탄, 캐나다 및 라오스 등이다(Fig. 1). 이들 국가 중 호주, 인도네시아 및 중국은 대부분이 석탄이고 일부 망간, 철, 연-아연, 니켈, 구리, 금, 몰리브덴, 희유원소 및 우라늄 등이다. 그러나 몽골은 금과 희유원소가 큰 부분을 차지한다(Fig. 1). 지식경제부(구 산업자원부)에 신고된 해외광물자원개발 사업은 아직까지 대부분이 조사 및 개발 단계이고 총 사업수의 14%만 생산하고 있다(Fig. 1).

또한 최근 해외자원개발 소식을 살펴보면, 볼리비아

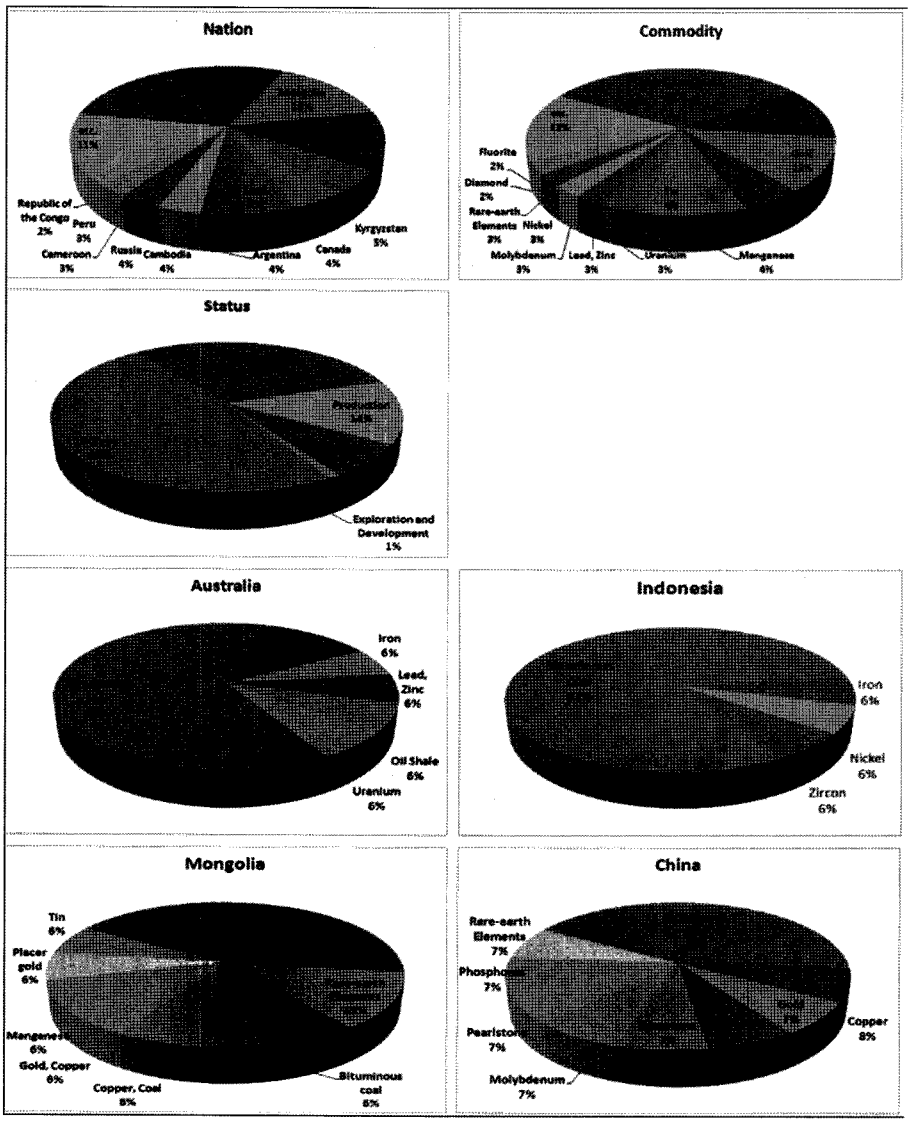


Fig. 1. Nation, commodity, status and major nations diagrams of oversea minerals projects in South Korea(Source : Ministry of Knowledge Economy(2008)).

꼬로꼬로 동광 공동개발 합의, 방글라데시 유연탄+발전소, 가스전 개발 추진, 산자부(현 지식경제부) 우즈벡, 몽골 민, 관 자원협력, 2008년부터 해외자원개발에 대한 세제지원 대폭 확대 및 가봉 등 아프리카 3개국에 자원조사단 파견 등의 소식이 포함되어 있다.

4. 해외금속자원의 매장량 및 생산량

2007년도 각 금속자원에 대한 전세계 매장량 및 주요 국가별 광산 생산량은 다음과 같다(Table 2)(USGS, 2008). 안티모니의 전세계 매장량은 2,100,000톤이며

Table 2. World mine production and reserves of minerals

Mineral	Country	Mine production	Reserves
Antimony (metric tons)	Bolivia	7,000	310,000
	China	110,000	790,000
	Guatemala	1,000	NA
	Russia	4,000	350,000
	South Africa	6,000	44,000
	Tajikistan	2,000	50,000
	Thailand	1,500	420,000
	Other countries	4,000	150,000
	World total	135,000	2,100,000
Arsenic (metric tons)	Belgium	1,000	
	Chile	11,500	
	China	30,000	
	France	1,000	
	Kazakhstan	1,500	
	Mexico	1,400	
	Morocco	6,900	
	Peru	3,500	
	Russia	1,500	
	Other countries	1,000	
	World total	59,000	
Bismuth (metric tons)	Bolivia	70	10,000
	Canada	190	5,000
	China	3,000	240,000
	Kazakhstan	140	5,000
	Mxico	1,200	10,000
	Peru	960	11,000
	Other countries	160	39,000
	World total	5,700	320,000
Cadmium (metric tons)	United States	W	43,000
	Australia	390	66,000
	Canada	2,100	23,000
	China	3,400	99,000
	Germany	640	0
	India	500	21,000
	Japan	2,100	0
	Kazakhstan	2,000	41,000
	Korea, Rep. of	3,600	0
	Mexico	1,600	21,000
	Netherlands	570	0
	Peru	420	54,000
	Russia	1,210	12,000
	Other countries	1,370	110,000
	World total	19,900	490,000
Chromium (thousand metric tons)	United States	W	110
	India	3,600	25,000
	Kazakhstan	3,600	290,000
	South Africa	7,500	160,000
	Other countries	5,000	NA
	World total	20,000	NA
Cobalt (metric tons)	United States	0	33,000
	Australia	7,500	1,400,000
	Brazil	1,200	29,000
	Canada	8,000	120,000
	China	2,300	72,000
	Congo(Kinshasa)	22,500	3,400,000
	Cuba	4,000	1,000,000
	Morocco	15,000	20,000
	New Caledonia	2,000	230,000
	Russia	5,000	250,000
	Zambia	7,000	270,000
	Other countries	1,300	130,000
	World total	62,300	7,000,000
Copper (thousand metric tons)	United States	1,190	35,000
	Australia	860	24,000
	Canada	585	9,000
	Chile	5,700	150,000
	China	920	26,000
	Indonesia	780	35,000
	Kazakhstan	460	14,000
	Mexico	400	30,000
	Peru	1,200	30,000
	Poland	470	30,000
	Russia	7,300	20,000
	Zambia	530	19,000
	Other countries	1,800	65,000
	World total	15,600	490,000
Gold (metric tons)	United States	240	2,700
	Australia	280	5,000
	Canada	100	1,300
	China	250	1,200
	Indonesia	120	1,800
	Peru	170	3,500
	Russia	160	3,000
	South Africa	270	6,000
	Other countries	920	17,000
	World total	2,500	42,000

Source : USGS(2008)

Table 2. Continued 2

Mineral	Country	Mine production	Reserves
Iron ore (million metric tons)	United States	52	6,900
	Australia	320	1,600
	Brazil	360	1,600
	Canada	33	1,700
	China	600	21,000
	India	160	6,600
	Iran	20	1,800
	Kazakhstan	23	8,300
	Mauritania	11	700
	Mexico	12	700
	Russia	110	25,000
	South Africa	40	1,000
	Sweden	24	3,500
	Ukraine	76	30,000
	Venezuela	20	4,000
	Other countries	70	11,000
	World total	1,900	150,000
Lead (thousand metric tons)	United States	430	7,700
	Australia	640	24,000
	Canada	75	4,000
	China	1,320	11,000
	India	75	NA
	Ireland	55	NA
	Kazakhstan	50	5,000
	Mexico	110	1,500
	Morocco	45	500
	Peru	330	3,500
	Poland	50	NA
	South Africa	45	400
	Sweden	75	500
	Other countries	250	24,000
	World total	3,550	79,000
Manganese (thousand metric tons)	Australia	2,200	62,000
	Brazil	1,000	35,000
	China	1,600	40,000
	Gabon	1,550	20,000
	India	650	56,000
	Mexico	130	4,000
	South Africa	2,300	100,000
	Ukraine	820	140,000
	Other countries	1,360	small
	World total	11,600	460,000
Molybdemum (metric tons)	United States	59,400	2,700,000
	Armenia	3,000	200,000
	Canada	8,000	450,000
	Chile	41,100	1,100,000
	China	46,000	3,300,000
	Iran	2,500	50,000
	Kazakhstan	400	130,000
	Kyrgyzstan	250	100,000

Source : USGS(2008)

Table 2. Continued 3

Mineral	Country	Mine production	Reserves
Molybdemum (metric tons)	Mexico	4,000	135,000
	Mongolia	1,500	30,000
	Peru	17,500	140,000
	Russia	3,100	240,000
	Uzbekistan	500	60,000
	World total	187,000	8,600,000
Nickel (metric tons)	Australia	180,000	24,000,000
	Botswana	35,000	490,000
	Brazil	75,300	4,500,000
	Canada	258,000	4,900,000
	China	80,000	1,100,000
	Colombia	99,500	830,000
	Cuba	77,000	5,600,000
	Dominican Rep.	47,000	720,000
	Greece	20,100	490,000
	Indonesia	145,000	3,200,000
	New Caledonia	119,000	7,100,000
	Philippines	88,400	940,000
	Russia	322,000	6,600,000
	South Africa	42,000	3,700,000
	Venezuela	20,000	560,000
	Zimbabwe	9,000	15,000
	Other countries	41,000	2,100,000
	World total	1,660,000	67,000,000
Silver (metric tons)	United States	1,220	25,000
	Australia	2,000	31,000
	Canada	1,200	16,000
	Chile	1,400	NA
	China	2,700	26,000
	Mexico	3,000	37,000
	Peru	3,400	36,000
	Poland	1,300	51,000
	South Africa	90	NA
	Other countries	4,200	50,000
	World total	20,500	270,000
Tellurium (metric tons)	United States	W	3,000
	Peru	35	1,600
	Other countries	NA	16,000
	World total	135	21,000
Tin (metric tons)	Australia	2,200	150,000
	Bolivia	18,000	450,000
	Brazil	12,000	540,000
	China	130,000	1,700,000
	Congo(Kinshasa)	3,000	NA
	Indonesia	85,000	800,000
	Malaysia	3,000	1,000,000
	Peru	38,000	710,000
	Portugal	200	70,000
	Russia	4,000	300,000
	Thailand	200	170,000
	Vietnam	3,500	NA
	Other countries	4,000	180,000
	World total	300,000	6,100,000

Table 2. Continued 4

Mineral	Country	Mine production	Reserves
Titanium (ilmenite) (thousand metric tons)	United States	300	6,000
	Australia	1,340	130,000
	Brazil	130	43,000
	Canada	816	31,000
	China	500	200,000
	India	340	85,000
	Mozambique	100	16,000
	Norway	380	37,000
	South Africa	1,060	63,000
	Ukraine	280	5,900
	Vietnam	200	1,600
	Other countries	109	66,000
	World total	5,600	680,000
Titanium (rutile) (thousand metric tons)	United States	9	400
	Australia	209	19,000
	Brazil	3	1,200
	India	18	7,400
	Mozambique	3	480
	Sierra Leone	80	2,500
	South Africa	121	8,300
	Ukraine	57	2,500
	Other countries	0	400
	World total	491	42,000
Ilme.&Ruti.	World total	6,100	730,000
Tungsten (metric tons)	United States	W	140,000
	Australia	1,300	10,000
	Bolivia	870	53,000
	Canada	2,600	260,000
	China	77,000	1,800,000
	Korea, North	600	NA
	Portugal	800	4,700
	Russia	4,400	250,000
	Other countries	2,040	420,000
	World total	89,600	2,900,000
Zinc (thousand metric tons)	United States	740	14,000
	Australia	1,400	42,000
	Canada	680	5,000
	China	2,800	33,000
	Kazakhstan	400	14,000
	Mexico	480	7,000
	Peru	1,500	18,000
	Canada	70	7,000
	Japan	25	NA
	Other countries	2,500	49,000
	World total	10,500	180,000

NA: Not available, W: Withhold to avoid disclosing company proprietary data, Ilme.: ilmenite, Ruti.: rutile, Rep.: Republic.

주로 중국, 태국, 러시아 순이다. 주요 나라별 광산 생산량은 중국(81%), 볼리비아(5%), 남아프리카공화국(4%) 순이다. 비소의 전세계 매장량은 1,180,000톤이며 동광석내에 비소는 북페루와 필리핀에 부존되어 있으며 칠레에서의 비소는 동-금광석내에 함유되어 산출된다. 또한 캐나다에서 비소는 금이 생산되는 곳에서 산출되기도 한다. 주요 나라별 광산 생산량(삼산화비소)은 중국(51%), 칠레(19%), 모르코(12%) 순이다. 창연의 전세계 매장량은 320,000톤이며 주로 중국, 볼리비아 및 페루에서 생산된다. 창연의 매장량은 주로 납광석의 부산물로써 산출되나 일부 중국에서는 텅스턴 또는 기타 금속광석의 부산물에서 산출된다. 볼리비아의 타스나(Tasna)광산과 중국의 한 광산에서는 창연이 창연광석에서 산출된다. 주요 나라별 광산 생산량은 중국(53%), 멕시코(21%), 페루(17%) 순이다.

카드뮴은 주로 석탄기의 석탄이나 섬아연석 광석에서 산출되며 전세계 매장량은 490,000톤이다. 각 나라별 정제 생산량은 한국(18%), 중국(17%), 캐나다(11%), 일본(11%) 및 멕시코(8%) 순이다. 크롬의 전세계 매장량은 120억톤 이상이며 크롬자원의 95%정도가 지리적으로 남부 아프리카와 카자흐스탄에 집중되어 있다. 각 나라별 광산 생산량은 남아프리카공화국(38%), 카자흐스탄(18%), 인도(18%)이다. 코발트의 전세계 매장량은 7,000,000톤 정도이며 주로 함 니켈 laterite광상(호주, 캐나다, 러시아) 및 퇴적 구리광상(콩고, 잠비아)에서 산출된다. 또한 해양저의 망간단괴에서도 코발트가 생산된다. 주된 국가별 광산 생산량은 콩고(36%), 캐나다(13%), 호주(12%), 잠비아(11%), 러시아(8%), 쿠바(6%), 중국(4%) 순이다. 구리의 전세계 매장량은 490,000,000톤이며 심해저의 단괴에서도 7억톤의 구리가 함유되어 있다. 각 나라별 광산 생산량은 칠레(36%), 페루(8%), 미국(8%), 중국(6%), 호주(5%) 및 인도네시아(5%) 순이다.

금의 전세계 매장량은 42,000톤이며 각 국가별 광산 생산량은 호주(11%), 남아프리카공화국(11%), 중국(10%), 미국(9%), 페루(7%), 러시아(6%) 및 인도네시아(5%) 순이다. 철광석의 전세계 매장량은 150,000,000,000톤이며 각 국별 광산 생산량은 중국(31%), 브라질(19%), 호주(17%), 인도(8%), 러시아(6%) 및 우크라이나(4%)이다. 납은 호주, 중국, 아일랜드, 멕시코, 페루, 포르투갈 및 미국(알라스카)의 아연, 은 또는 구리광상에서 함께 산출된다. 납의 전세계 매장량은 79,000,000톤이며 각 국가별 광산 생산량은 중국(37%), 호주(18%), 미국(12%), 페루(9%) 및 멕시코(3%) 순이다. 망간은 대부분 남아프리카공화국(80%)와 우크라이나(20%)에서 분포하며 전세계 매장량은 460,000,000톤이다. 각 국가별 광산 생산량은 남아프리카공화국(20%),

호주(19%), 중국(14%), 가봉(13%), 브라질(9%) 및 우크라이나(7%) 순이다. 몰리브덴은 주로 반암 몰리브덴 광상과 반암 동광상에서 산출되며 전세계 매장량은 8,600,000톤이다. 각 국가별 광산 생산량은 미국(32%), 중국(25%), 칠레(22%), 페루(9%), 캐나다(4%), 멕시코(2%), 러시아(2%), 아르메니아(2%), 이란(1%) 및 몽골(1%) 순이다.

니켈은 laterites(60%)와 sulfides 광상(40%)에 산출된다. 또한 상당량의 니켈은 태평양과 같이 대양저의 망간단괴와 함께 산출된다. 니켈의 전세계 매장량은 67,000,000톤이며 각 국가별 광산 생산량은 러시아(19%), 캐나다(18%), 호주(11%), 인도네시아(9%), 뉴칼레도니아(7%), 콜롬비아(6%), 필리핀(5%), 중국(5%) 및 쿠바(5%) 순이다. 은은 구리, 금 및 연-아연광석의 부산물로 산출되며 전세계 매장량은 270,000톤이다. 각 국가별 광산 생산량은 페루(17%), 멕시코(15%), 중국(13%), 호주(10%), 칠레(7%) 및 폴란드(6%) 순이다. 텔루륨은 주로 동광상에서 산출되며 전세계 매장량은 21,000톤이다. 각 나라별 정제 생산량은 캐나다(54%), 페루(27%) 및 일본(19%) 이다. 주석의 전세계 매장량은 6,100,000 metric tons이며 주로 서부아프리카, 남동아시아, 호주, 볼리비아, 브라질, 중국 및 러시아지역에 분포한다. 각 나라별 광산 생산량은 중국(43%), 인도네시아(28%), 페루(13%), 볼리비아(6%), 브라질(4%), 러시아(1%), 베트남(1%), 콩고(1%), 말레이시아(1%) 및 호주(1%)이다.

티탄은 티탄철석, 예추석(anatase) 및 금홍석에서 산출되며 함 티탄 광물의 전세계 매장량은 730,000,000톤이다. 각 나라별 티탄철석의 광산 생산량은 호주(24%), 남아프리카공화국(19%), 캐나다(15%), 중국(9%), 노르웨이(7%), 인도(6%), 미국(5%) 및 우크라이나(5%)이고 각 국가별 금홍석의 광산 생산량은 호주(42%), 남아프리카공화국(25%), 시에라리온(16%), 우크라이나(11%) 및 인도(4%)이다. 텅스텐은 전세계에 폭넓게 분포하며 중국이 가장 많은 매장량(1,800,000톤)을 갖고 있으며 그 뒤를 캐나다, 카자흐스탄, 러시아 및 미국이 많은 매장량을 갖고 있다. 텅스텐의 전세계 매장량은 2,900,000톤이며 각 나라별 광산 생산량은 중국(86%), 러시아(5%), 캐나다(3%), 오스트리아(1%), 볼리비아(1%), 포르투갈(1%) 및 북한(1%)이다. 아연의 전세계 매장량은 180,000,000톤이며 각 나라별 생산 생산량은 중국(27%), 페루(14%), 호주(13%), 미국(7%), 캐나다(6%), 멕시코(5%) 및 카자흐스탄(4%)이다.

5. 광상유형별 해외금속자원

우리나라 정부는 해외자원개발의 구동력 확보를 위해 2001년부터 매 3년마다 10년 단위의 "해외자원개발 기본 계획"을 수립하여 해외자원개발 추진을 유도하고 있다. 2007년에는 급변하는 자원시장의 변동성과 국내 산업구조의 변화를 반영하여 중점 추진 금속자원으로 철, 동, 아연 및 니켈을 선정하였다(Kwon, 2008). 그리고 해외광물자원개발 사업 진행 현황에서 살펴보았듯이, 진출국가로는 중국, 몽골, 호주 및 인도네시아가 대부분을 차지하고 금속자원으로는 금, 동, 철, 연 및 아연 등이다. 또한 최근들어 광상의 성인연구는 단일 광상의 성인 연구도 중요하지만 단일 광종의 광상뿐만 아니라 여러 광종의 광상에 대한 성인, 탐사 및 개발방향은 지체구조, 화성활동 및 변성작용 등 여러 광상 형성 요소들과 관련하여 해석하고 있다. 2007년도 미국지질조사소(USGS)에서 발간한 "Introduction to Regional Geology, Metallogenesis, and Tectonics of Northeast Asia"에서 기술한 동북아시아에서 발견되는 광상형은 Table 3과 같다. 따라서 금, 동, 철, 연, 아연, 텅스텐, 몰리브덴 및 니켈 등을 포함한 금속자원들과 주 진출국가인 중국, 몽골 및 호주 등을 포함한 나라들을 중심으로 대표적인 광상형인 조산 lode (Orogenic lode)형 광상, 화산성 괴상형 황화광상(volcanogenic massive sulfide deposits-VMS), 반암형 광상, SEDEX (sedimentary exhalative)형 광상, MVT (Mississippi valley-type deposits)형 광상, IOCG(Iron oxide copper-gold deposits)형 광상 및 마그마성 Ni-Cu-PGE형 광상에 대해 소개하면 다음과 같다.

조산 lode형 광상은 일반적으로 석영과 방해석으로 구성되며 형성온도와 압력은 각각 200-650°C, 1-5 kbar이다(Groves, 1993). 전세계 매장량은 16,585톤 Au 정도이며 이 타입의 광상이 전세계 금 생산량의 13.1%를 차지한다(Dube and Gosselin, 2007). 전세계에서 잘 알려진 조산형 lode 금광상은 104개 정도이며 대표적인 조산형 lode 금광상은 Fig. 2와 같다. 이 그림에서 보는 것과 같이 각 나라별 광상에 대한 정보(광상별 위치, 금 생산량, 광화시기, 변성시기, 화성활동 등)는 Goldfarb *et al.*(2001)에 보고되어 있으며 이 그림에서 비교적 큰 규모의 광상은 호주의 Yilgarn, 러시아의 Yana-Kolyma, 미국의 Sierra Foothills 및 캐나다의 Superior Province등이다. 또한 중국의 Jiaodong Peninsular와 몽골의 Inner Mongolia에는 중소 규모 정도이다(Goldfarb *et al.*, 2001). 이 형의 광상 평균

Table 3. List of mineral deposit models employed for metallogenic analysis of Northeast Asia

Deposit Group	Deposit Name
Deposit related to mafic and ultramafic intrusions	Mafic-ultramafic related Cu-Ni-PGE
	Mafic-ultramafic related Ti-Fe(± V)
	Zoned mafic-ultramafic Cr-PGE
	Podiform chromite
	Anorthosite apatite-Ti-Fe-P
	Diamond-bearing kimberlite
Deposit related to intermediate and felsic intrusions	Muscovite pegmatic
	REE-Li pegmatic
	Fluorite greisen
	Sn-W greisen, stockwork, and quartz vein
	W-Mo-Be greisen, stockwork, and quartz vein
	Ta-Nb-REE alkaline metasomatite
	Au skarn
	Boron (datolite) skarn
	Carbonate-hosted asbestos
	Co skarn
	Cu (± Fe, Au, Ag, Mo) skarn
	Fe skarn
	Fe-Zn skarn
	Sn skarn
	Sn-B (Fe) skarn (ludwigite)
	W ± Mo ± Be skarn
	Zn-Pb (± Ag, Cu) skarn
	Cassiterite-sulfide-silicate vein and stockwork
	Felsic plutonic U-REE
	Granitoid-related Au vein
	Polymetallic Pb-Zn ± Cu (± Ag, Au) vein and stockwork
	Porphyry Au
	Porphyry Cu (± Au)
	Porphyry Cu-Mo (± Au, Ag)
	Porphyry Mo (± W, Bi)
	Porphyry Sn
Deposit related to alkaline intrusions	Apatite carbonatite
	Fe-REE carbonatite
	Fe-Ti (± Ta, Nb, Fe, Cu, apatite) carbonatite
	Phlogopite carbonatite
	REE (± Ta, Nb, Fe) carbonatite
	Alkaline complex-hosted Au
	Peralkaline granitoid-related Nb-Zr-REE
	Albite syenite-related REE
	Ta-Li ongonite
	Charoite metasomatite
	Magmatic and metasomatic apatite
	Magmatic graphite
	Magmatic nepheline
Deposit related to marine extrusive rocks	Besshi Cu-Zn-Ag massive sulfide
	Cyprus Cu-Zn massive sulfide
	Korean Pb-Zn massive sulfide
	Volcanogenic Cu-Zn massive sulfide (Urals type)
	Volcanogenic Zn-Pb-Cu massive sulfide (Kuroko, Altai types)

Source : USGS(2007)

품위는 5~15 g/t Au이며 평균광량은 수백만톤 정도이다(Goldfarb *et al.*, 2001). 평균 품위와 광량에 따른 광상수를 살펴보면, 대부분의 광상들이 평균 품위 10 g/t 이하이고 광량은 35 Mt 이하이다. 이 형의 큰 규모의 광상의 생성시기는 27-25억년 및 3-2억년에 해당된다 (Fig. 3). 중국의 Jiaodong Peninsular의 광화시기는 1.3-1.2억년에 해당되며 대략 생산량은 > 1-2 Moz Au 정도이다(Goldfarb *et al.*, 2001). 또한 남중국에서의 조산형 lode 광상은 Yunnan, Guangdong 및 Shandong Provinces에서 분포하며 20-150 ton Au 정도이고 품

Table 3. Continued

Deposit Group	Deposit Name
Deposit related to marine extrusive rocks	Volcanogenic-hydrothermal-sedimentary massive sulfide Pb-Zn (± Cu) Volcanogenic-sedimentary Fe Volcanogenic-sedimentary Mn
Deposits related to subaerial extrusive rocks	Ag-Sb vein Basaltic native Cu (Lake Superior type) Hg-Sb-W vein and stockwork Hydrothermal Iceland spar Ni-Co arsenide vein Silica-carbonate (listventie) Hg Trap related Fe Skarn (Angara-Ilim type) Au-Ag epithermal vein Ag-Pb epithermal vein Au potassium metasomatite (Kuranakh type) Barite vein Be tuff Carbonate-hosted As-Au metasomatite Carbonate-hosted fluorspar Carbonate-hosted Hg-Sb Clastic sediment-hosted Hg ± Sb Epithermal qualtz-alunite Fluorspar vein Hydrothermal-sedimentary fluorite Limonite Mn vein Polymetallic(Pb, Zn ± Cu, Ba, Ag, Au) volcanic-hosted metasomatite Polymetallic(Pb, Zn, Ag) carbonate-hosted metasomatite Rhyolite-hosted Sn Sulfur-sulfide (S, FeS_2) Volcanic-hosted Au-base-metal metasomatite Volcanic-hosted Hg Volcanic-hosted U Volcanic-hosted zeolite
Deposits related to hydrothermal- sedimetary sedimentary processes	Bedded barite Carbonate-hosted Pb-Zn (Mississippi valley type) Sediment-hosted Cu Sedimentary exhalative Pb-Zn (SEDEX) Chmical-sedimentary Fe-Mn Evaporate halite Evaporate sedimentary gypsum Sedimentary bauxite Sedimentary celestite Sedimentary phosphate

Source : USGS(2007)

위는 1-55 g/t Au 정도이다(Zaw *et al.*, 2007). 몽골에서의 조산형 lode 광상은 첨가쐐기(accretionary wedge) 또는 활성 대륙연변호(active continental margin arc) 환경에서 형성되어 졌으며 Mergen Uul과 Nukhniinuruu districts에서 분포하는 광상들이 대표적인 예이다. 이런 광상형은 석영과 탄산염광물-석영의 평행, 조화(concordant) 및 안상광맥형 맥상들(saddle-reef veins)로 구성되어 있으며 모암인 터비다이트(turbidite)와 쳐어트질 및 화산성 육원(chert- volcanic-terrigenous) 암석은 녹색편암상(greenschist facies)으로 변성되어졌다. 황화광물의 양은 적으며 방연석, 섬아연석, 황동석과 유비철석 등이 산출된다. 모암변질은 황철석화, 탄산염화, 견운모화 및 규화작용이 관찰된다. Free gold는 맥내에 산출되거나 변질된 모암내에 산점상으로 산출된다(USGS, 2003). 또한 금은 천열수형 금-은 광상, IOCG형 광상 및 반암형 광상에서 산출된다. 현재 우리나라의 해외광물자원개발 국가는 몽골, 호주, 인도네시아 및 중국 등이 많은 부분을 차지한다. 특히, 이들 국가에서의 금은 지체구조상 천열수형 금-은 광상 및 반암형 광상과 밀접하게 관련된다. 천열수형 금-은 광

Table 3. Continued

Deposit Group	Deposit Name
Deposits related to hydrothermal-sedimetary sedimentary processes	Sedimentary Fe-V Sedimentary siderite Fe Stratiform Zr (Algama Type) Polygenic REE-Fe-Nb deposits (Bayan-Obo type)
Deposits related to metamorphic processes	Banded iron formation (BIF, Algoma Fe) Homestake Au Sedimentary-metamorphic borate Sedimentary-metamorphic magnesite Au in black shale Au in shear zone and quartz vein Clastic-sediment-hosted Sb-Au Cu-Ag vein Piezoquartz Rhodusite asbestos Talc (magnesite) replacement Metamorphic graphite Metamorphic sillimanite Phlogopite Skarn
Deposit related to surficial processes	Bauxite (karst type) Laterite Ni
Exotic deposits	Impact diamond

Source : USGS(2007)

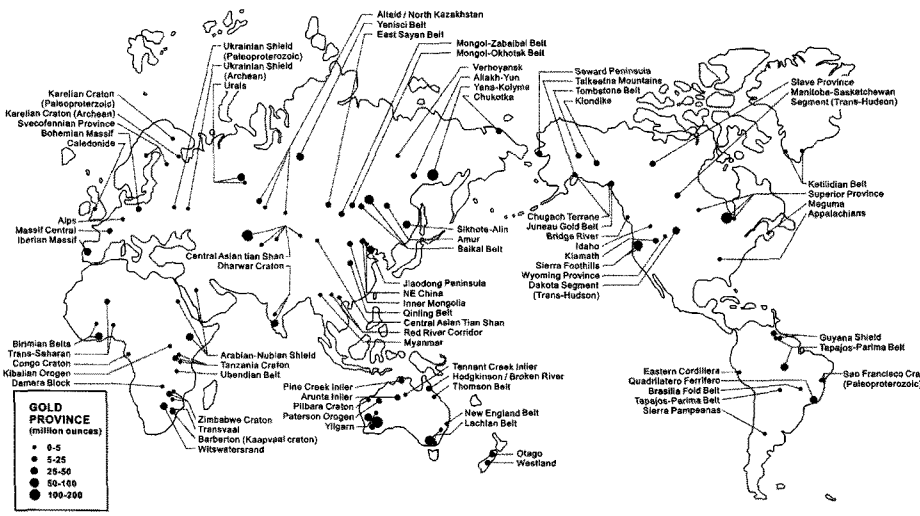


Fig. 2. World map showing the distribution of significant orogenic lodes deposits(Source : Goldfarb *et al.*(2001)).

상은 전세계 금 생산의 15% 이상을 차지하며 전세계 도처에 분포하나 특히 지체구조상 수렴 판 경계부들(convergent plate margins)에서 많이 분포한다. 인도네시아의 금 생산은 천열수형 금-은 광상, 반암형 광상 및 사광상에서 산출되나 대부분 천열수형 금-은 광상에서 산출된다(Lee and Kim, 2003; Kim *et al.*, 2004b). 인도네시아는 이미 130톤의 금을 생산하였고 현재에는 천열수형 금-은 광상을 대상으로 전세계 금 생산량의 0.2% 를 점하고 있다(Kim *et al.*, 2004b). 몽골의 금 부존량은 맥상 금광상과 사금을 합하여 3,100톤 정도로 추산되며 이 중 맥상 금이 2,800톤, 사금이 300톤 정도이다(Heo *et al.*, 2007).

VMS형 광상은 아연, 구리, 납, 은 및 금이 주로 생산되며 volcanic-associated, volcanic-hosted 및 volcano-sedimentary-hosted massive sulfide 광상으로도 불리워진다(Galley *et al.*, 2007). 이 형의 광상 중 매장량이 200,000톤 이상인 광상은 전세계에서 800여개 정도이며 전세계에서 아연 생산의 22%, 구리 생산의 6%, 납 생산의 9.7%, 은 생산의 8.7% 및 금 생산의 2.2%를 차지한다(Singer, 1995). 전세계에서 이 형의 가장

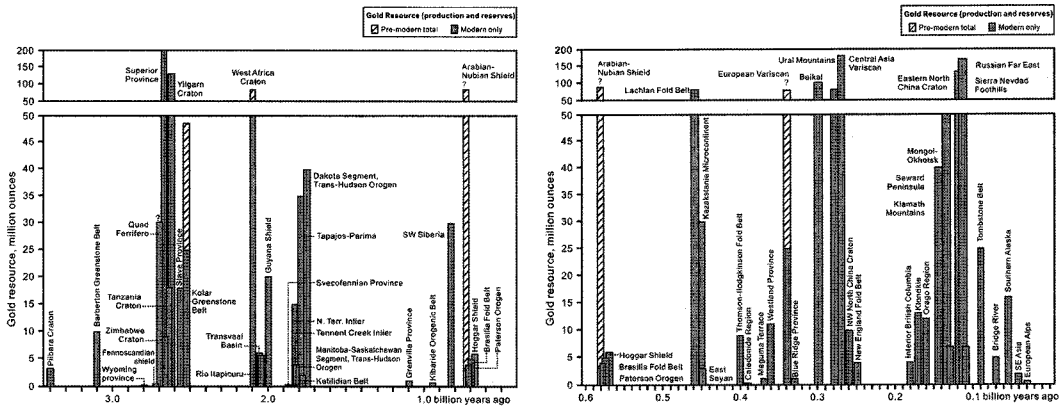
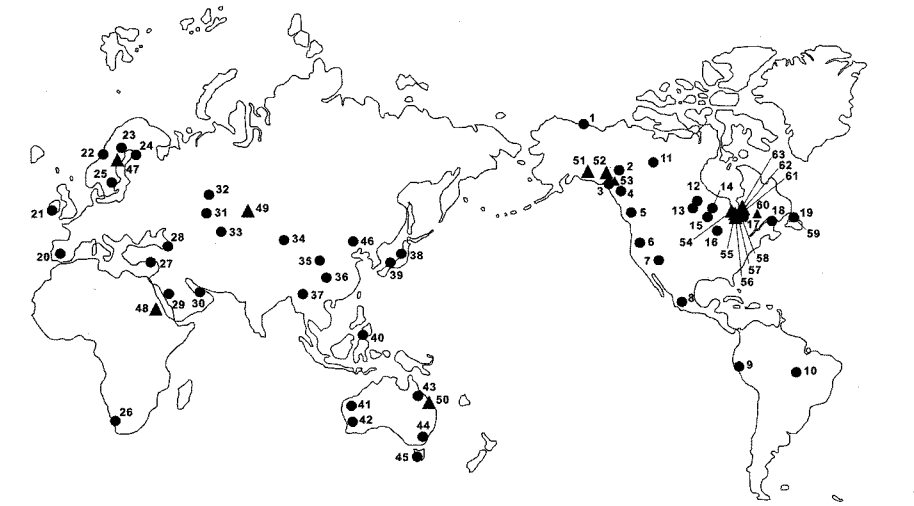


Fig. 3. Gold production vs. best approximation for the age of gold vein formation for orogenic lodes deposits(Source : Goldfarb *et al.*(2001)).



1: Brooks Range, Alaska (35Mt)
2: Finlayson Lake, YK (20Mt)
3: Windy Craggy, BC & Green's Creek, Alaska (300Mt)
4: Northern Cordillera, BC (100Mt)
5: Myra Falls, BC (35Mt)
6: Shasta, California (35Mt)
7: Jerome, Arizona (40Mt)
8: Central Mexico (120Mt)
9: Tambo Grande (200Mt)
10: Amazonian craton, Brazil (35Mt)
11: Slave Province, NWT, NV (30Mt)
12: Ruttan, MB (85Mt)
13: Flin Flon-Snow Lake, MB (150Mt)
14: Geco-Manitouwadge, ON (60Mt)
15: Sturgeon Lake, ON (35Mt)
16: Ladysmith-Rhinelander, Wisconsin (80Mt)
17: Abitibi, ON-QC (600Mt)
18: Bathurst, NB (495Mt)
19: Dunnage Zone, NF (75Mt)
20: Iberian Pyrite Belt, Spain & Portugal (1575Mt)
21: Avoca, Ireland (37Mt)
22: Trondhjeim, Norway (100Mt)
23: Skellefte, Sweden (70Mt)
24: Outokumpu-Pyhasalmi, Finland (90Mt)
25: Bergslagen-Orijarvi, Sweden & Finland (110Mt)
26: Preiska, South Africa (45Mt)
27: Troodos, Cyprus (35Mt)
28: Black Sea, Turkey (200Mt)
29: Saudi Arabia (70Mt)
30: Semail, Oman (300Mt)
31: Southern Urals, Russia (400Mt)
32: Central Urals, Russia (100Mt)
33: Rudny Altai, Kazahkstan (400Mt)
34: Altia-Shan, Mongolia (40Mt)
35: North Qilian, China (100Mt)
36: Sanjiang, China (50Mt)
37: Bawdwin-Laocang, Burma (40Mt)
38: Hokuroko, Japan (80Mt)
39: Besshi, Japan (230Mt)
40: Phillipines (65Mt)
41: Western Australia (75Mt)
42: Western Australia (75Mt)
43: Central Queensland, Australia (80Mt)
44: Lachlan Fold Belt, Australia (100Mt)
45: Mt. Read, Tasmania (200Mt)
46: Sino-Korean Platform (40Mt)
47: Boliden
48: Hassai
49: Abyz
50: Mount Morgan
51: Greens Creek
52: Eskay Creek
53: Big Missouri
54: Horne
55: Quemont
56: Ellison
57: Westwood
58: Bousquet2-Dumagami
59: Rambler
60: Montauban
61: LaRonde Penna
62: Bousquet1
63: Agnico-Eagle

Fig. 4. World map showing the locations of major VMS deposits(solid circles) and world-class Au-VMS deposits(solid triangles) containing at least 30 tones Au. Larger solid triangle stands for >30t Au and smaller one does < 30t Au(Source : Galley *et al.*(2007)).

큰 광상은 스페인의 Iberian pyrite Belt(IPB)내 Neves Corvo 광상이다(Fig. 4). 이 그림에서 보는 것과 같이 각 번호별 광상에 대한 정보(위치, 매장량 등)이 표시되어 있으며 매장량이 큰 광상들은 주로 스페인과 포르투갈에 밀집되어 있으며 생성시기는 고생대 석탄기에 해당된다. 또한 대표적인 VMS형 광상의 구리, 아연, 납, 은 및 금 평균품위은 0.1~4.8 wt.% Cu, 0.04~9.56 wt.% Zn, 0.01~9.09 wt.% Pb, 0~232 g/t Ag 및 0~4.7 g/t Au이다(Table 4). 중국과 몽골의 이 형에 해당되는 대표적인 광상/지역은 Altai-Shan(몽골),

Table 4. Examples of large-tonnage VMS deposits of the world

Deposit	Location	Mt	Cu wt.%	Zn wt.%	Pb wt.%	Ag g/t	Au g/t	Age
Giant Deposits (>100 Mt)								
Windy Craggy	British Columbia	297.4	1.38			4	0.2	Triassic
Neves Corvo	Portugal	270	1.6	1.4	0.3	30		Carboniferous
Aljustrel	Portugal	250	0.8	3	1	38	0.8	Carboniferous
Rio Tinto (massive)	Spain	250	1	2	1	30	0.22	Carboniferous
La Zarza	Spain	164	0.7	1.5	0.5	24	1	Carboniferous
Horne (No. 5 Zone)	Quebec	150	0.1	0.7			0.3	Archean
Kidd Creek	Ontario	149.3	2.89	6.36	0.26	92	0.05	Archean
Brunswick No. 12	New Brunswick	137.3	0.33	9.56	3.56	100	0.2	Ordovician
Tharsis	Spain	110	0.5	2.7	0.6	22	0.7	Carboniferous
Mt. Lyell	Tasmania	106.8	1.19	0.04	0.01	7	0.41	Cambrian
Very Large Deposits (50~100 Mt)								
Ruttan	Manitoba	82.8	1.37	1.63	0.08	13	0.5	Paleoproterzoic
Aznacollar	Spain	74	0.49	2.14	1.04	44	0.5	Carboniferous
Los Frailes	Spain	70	0.34	3.92	2.25	63		Carboniferous
Masa Valerde	Spain	70	0.5	1.3	0.6	38	0.8	Carboniferous
Caribou	Mew Brunswick	70	0.5	4.3	1.6			Ordovician
Flin Flon	Manitoba	62.5	2.17	4.13		42	2.64	Paleoproterzoic
Crandon	Wisconsin	61	1.1	5.6	0.5	37	1	Paleoproterzoic
Geco	Ontario	58.4	1.86	3.45	0.15	50		Archean
Sotiel	Spain	59	0.6	4.9	1.9			Carboniferous
LaRonde	Quebec	55	0.33	2.11		50	4.66	Archean
Matsumine-Shakanai	Japan	54.2	2.19	2.63	0.76	64	0.62	Miocene
Horne Mine	Quebec	54	2.2			13	6.1	Archean
Large deposits (25~50 Mt)								
Mt. Morgan	Queensland	50	0.7	0.1	0.05	6	4.7	Devonian
Lousal	Portugal	50	0.7	1.4	0.8			Carboniferous
Britannia	british Columbia	48.8	1.9	0.65		7	0.69	Jurassic
Migollas	Spain	47.6	0.83	2.23	1.3			Carboniferous
Preiska	South Africa	47.2	0.98	1.98		20	0	Proterozoic
Selbaie (all orebodies)	Quebec	44	1.05	1.98		39	0.6	Archean
Norita	Quebec	37.6	2.17	4.13		41	2.6	Archean
Avoca	Ireland	37	0.7					Ordovician
Auas Tenidas	Spain	35						Carboniferous
Bawdwin	Burma	34.1	0.48	13	9.09	232	0.06	Ordovician
Arctic (Brooks Range)	Alaska	32.9	4	5.5	0.8	51	0.02	Devonian
Pyhasalmi	Finland	31.1	0.75	2.43	0.06	17	0.2	Proterozoic
United verde	USA	30	4.8	0.2		50	1.37	Proterozoic
Madenkoy	Turkey	30	3.9	4.3				Cretaceous
Besshi	Japan	29.9	2.6	0.3		21	0.7	Jurassic
Outokumpu	Finland	28	3.8	1	0.01	9	0.08	Proterozoic
Hitachi	Japan	27.2	1.4	0.6		5	0.5	Cretaceous
Buttle Lake	British Columbia	26.3	1.9	5.93	0.55	55	2.15	Devonian
Murgul	Turkey	26.2	2.03			0		Jurassic
Scuddles	W. Australia	26.1	1.2	6.9	0.5	59	0.9	Archean
Cayeli	Turkey	26	4.7	7.3				Cretaceous
Mattagami Lake	Quebec	25.6	0.42	5.1		22	0.3	Archean
Granduc	British Conumbia	25.1	1.79	0.2	0.02	11	0.17	Jurassic
Lokken	Norway	25	2.1	1.9	0.1	19	0.29	Ordovician

[1]Includes prodiction and estimated reserves where applicable. From Hannington *et al.*(1999a, b, c). Source : Galley *et al.*(2007)

North Qilian, Sanjiang(중국)이다(Fig. 4). 남중국의 경우 주로 Sichuan 및 Yunnan 성에 분포하며 품위는 0.4-5.4% Zn, 0.44-6.1% Cu, 0.2-8.9% Pb, 57-195 g/t Ag 및 0.3-3.5 g/t Au이다(Zaw *et al.*, 2007). 구리-납-아연 삼각다이어그램을 통한 화산성 괴상형 유화광상을 분류하면 Zn-Cu형과 Zn-Pb VMS형 광상이 해당되며 이는 납과 구리가 풍부한 대륙(continental) 환경 또는 대륙연변호(continent margin arc) 환경에서 형성되었기 때문이다(Fig. 5). 또한 화산성 괴상형 황화광상 중에 금이 많이 함유된 13광상은 Fig. 4와 같으며 대부분이 캐나다에 분포한다. 이 형에서 산출되는 금 생산량은 다른 형에 비해 작으나 도표 5에서 보는 것과 같이 평균품위가 44.4 g/t Au 를 갖는 광상도 있다(Dube *et al.*, 2007). 금 품위와 광량의 상관관계로 살펴보면, 캐나다의 Horne 광상, Laronde Penna 광상 및 호주의 Mount Morgan 광상이 높은 금 매장량을 갖는다(Fig. 6). 광화시기별 광상수, 광량, 금 품위 및 금 매장량을 살펴보면, 품위는 중생대에서 높지만 전반적으로 시생대에서 높게 나타난다.

반암형 광상은 시공간적으로 산성내지 중성 반암 관입체에 밀접한 관계를 갖는다(Kirkham, 1972). 이 형의 광상은 전세계적으로 광범위하게 분포하지만 상대적으로 좁고 선상 분포하는 것이 특징이다(Fig. 7). 이 그림에서 보는 것과 같이 각 나라별 광상에 대한 정보는 Sinclair(2007)에 보고되어 있으며 특히 이 반암형의 광상은 주로 북중미와 남중미의 중생대 및 신생대 화성활동과 밀접하다. 그러나 많은 중앙아시아와 북중미의 동부에 분포하는 이 형의 광상들은 고생대의 화성활동과 관련된다(Sinclair, 2007). 반암형 광상은 구리,

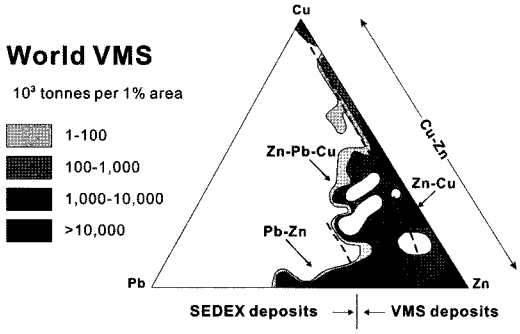


Fig. 5. Base metal classification of worldwide VMS deposits as defined first by Franklin *et al.* (1981) and modified by Large (1992) to include the Zn-Pb-Cu class. The preponderance of Cu-Zn and Zn-Cu VMS deposits in worldwide is a larger proportion of felsic-hosted, more Pb-rich continental and continent margin arc settings(Source : Galley *et al.*(2007)).

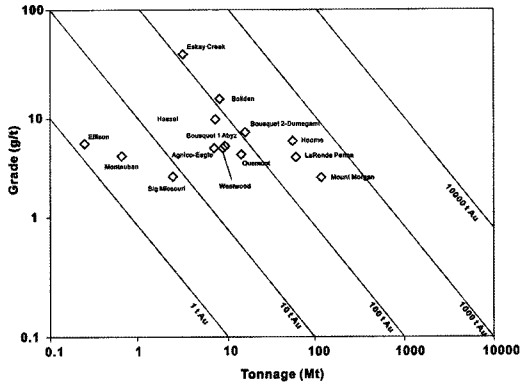


Fig. 6. Grade vs. tonnage of world Au-VMS deposits(>30 t Au), indicating that numbers include production, reserves and resources((Source : Dube *et al.*(2007)).

몰리브덴, 레늄, 금, 은 및 주석의 주 산지이며 텅스텐, 인듐, 백금, 팔라듐, 셀레늄이 부산물로 산출된다. 이 형에서 산출되는 구리량은 전세계 구리 생산량의 50-60%를 차지하고 몰리브덴은 전세계 몰리브덴 생산량의 90%를 차지한다. 반암형 광상은 주 원소 및 부 원소에 따라 1) Cu(±Au, Mo, Ag, Re, PGE), 2) Cu-Mo(±Au, Ag), 3) Cu-Mo-Au(±Ag), 4) Cu-Au(±Ag, PGE), 5) Au(±Ag, Cu, Mo), 6) Mo(±W, Sn), 7) W-Mo(±Bi, Sn), 8) Sn(±W, Mo, Ag, Bi, Cu, Zn, In), 9) Sn-Ag(±W, Cu, Zn, Mo, Bi) 및 10) Ag(±Au, Zn, Pb)로 세분된다(Sinclair, 2007). 이 세분된 반암형 광상의 구리 평균 품위는 0.2-1.0% Cu 정도이다. 또한 몰리브덴의 평균 품위는 0.005-0.03% Mo이고 금의 평균 품위는 0.004-0.35 g/t Au이다. 중국과 몽골에서는 주로 1) Cu(±Au, Mo, Ag, Re, PGE) 및 6) Mo(±W, Sn) 광상이 주로 산출된다. 반암형 구리 광상은 몽골에선 남부-동부 및 서부 Khongoot, Oyu Tolgoria지역과 중국에선 북동부의 Xiaoxinancha, Jilin 지역에 분포한다(KIGAM, 2006). 반암형 몰리브덴 광상은 몽골에선 서부 및 동부의 Naranbu, Zos-Uul, Avdarolgoi 및 Arymmuur지역과 중국에선 Lanjiagou, Liaoning, Jilin지역과 Daheishan 2, Xigeyu, Yehu, Moguyu, Houyu광상들이다. 또한 Jiangxi, Yunnan, Tibet, Hubei 및 Anhui 성의 반암형 광상들은 주로 1) Cu(±Au, Mo, Ag, Re, PGE), 2) Cu-Mo(±Au, Ag), 3) Cu-Mo-Au(±Ag) 및 4) Cu-Au(±Ag, PGE)로 산출되고 품위는 0.1-5% Cu, 0.02-0.08% Mo, 0.02-9 g/t Au 이다(Zaw *et al.*, 2007).

SEDEX(sedimentary exhalative)형 광상은 일반적으로 해저환경에서 판상광체로 형성되며 아연, 연 및 은

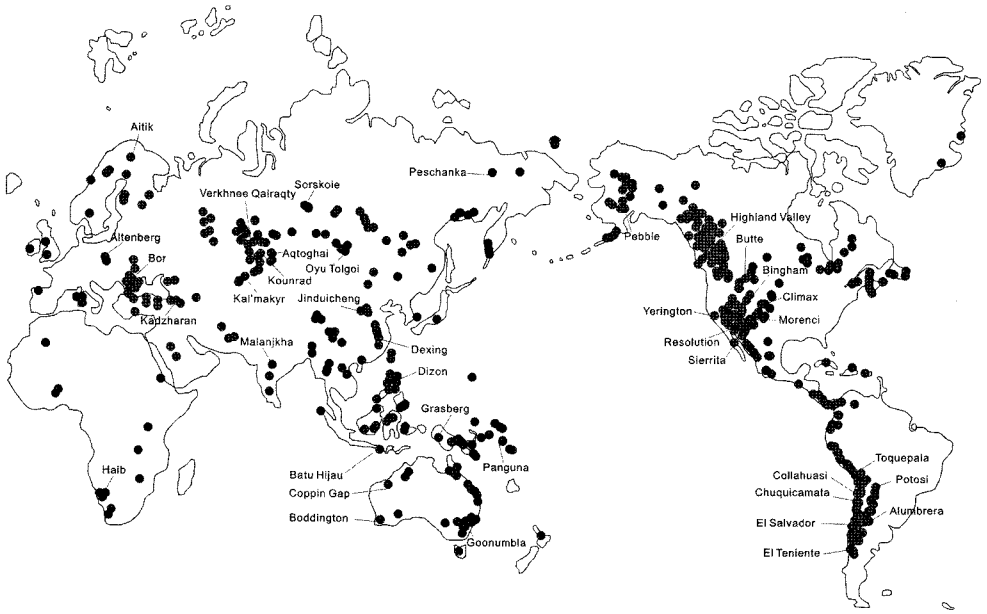


Fig. 7. Global distribution of porphyry deposits((Source : Sinclair(2007)).

Table 5. Grade and tonnage of world-class Au-VMS deposits with at least 30 tonnes Au in production and reserves

Deposit	Country	Tonnage (Mt)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (wt.%)	Pb (wt.%)	Zn (wt.%)
Bousquet 1	Canada	6.44	5.55				
Agnico Eagle	Canada	6.3	5.18				
Bousquet 2- LaRonde 1	Canada	23.26	5.14	2.12			
Horne	Canada	54.3	6.10	13.00	2.22		
Laronde Penna	Canada	43.45	4.23	52.12	0.32		2.72
Quemont	Canada	13.92	4.74	19.53	1.21		1.82
Eskay Creek	Canada	2.49	44.38	2087.68			
Mt. Morgan	Australia	80.74	3.67	0.74	0.72		
Hassai	Sudan	6.2	10.00				
Boiden	Sweden	8.3	15.09	48.31	1.42		
Abyz	Kazakhstan	4.4	6.47	61.00	2.13		5.35
Greens Creek	U.S.A.	11.2	4.20	560.94	0.01	4.07	10.88

Source : Dube *et al.*(2007)

이 생산된다(Goodfellow and Lydon, 2007). 2004년 SEDEX광상들은 서방국가의 아연 매장량과 자원의 38.8%과 65.1%를 차지한다(Hunt, 2006). 이 형의 분포지는 Fig. 8과 같으며 주로 캐나다, 호주, 남아프리카공화국, 중국, 인도 및 카자흐스탄 등이다. 이 그림에 대한 주된 광상에 대한 정보(위치, 품위, 매장량 등)는 Table 6에 이 표시되어 있다. 전세계적으로 132정도의 SEDEX 광상이 있으며 이들 광상 중 50 정도의 광상들은 2천만톤 이상의 광량을 갖고 있다(Table 6). Table 6에서 보는 것과 같이 아연+납의 광량이 가장 높은 광상은 중국의 Jiashengpan광상과 아제르바이젠의 Filizchai광상이며 1억톤 정도이다. 이들 대표적인 광상들의 품위는 0.53-18.06% Zn, 0.50-10.90% Pb, 2.60-493.00 g/t Ag이다(Table 6). 광상유형별 아연 매장량은 SEDEX형 광상이 38.4%, VMS형 광상이 30.2%로써 68% 이상 차지한다(Fig. 9). 아연 자원은 SEDEX형 광상이 65.1%, VMS형 광상이 15.3%로써 80% 이상 차지하며 2004년 아연 생산량은 SEDEX형 광상이 32%, VMS형 광상이 27%, 아연 산화형 광상이 12% 및 MVT형 광상이 6%를 차지한다(Fig. 9).

MVT(Mississippi valley-type deposits)형 광상은 주로 섬아연석과 방연석으로 구성된 층상형 광체로 구

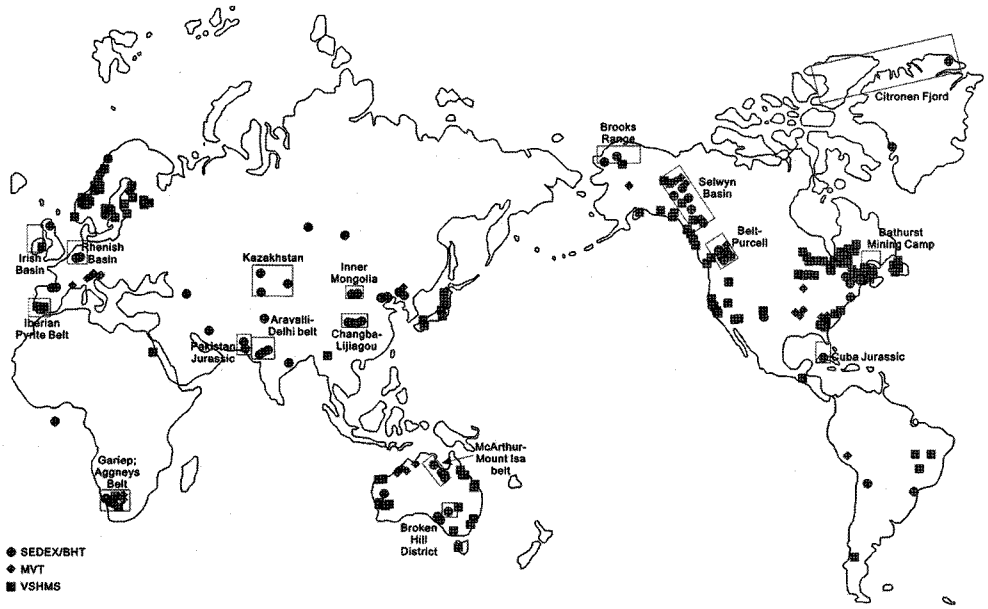


Fig. 8. World map showing the distribution of SEDEX/BHT, MVT and VSHMS deposits, indicating that Irish-type deposits are included in the broad group of SEDEX deposits(Source : Paradis *et al.*(2007)).

성된다(Paradis *et al.*, 2007). 이 형의 광상은 전세계 연과 아연 자원의25%를 차지하며 80여개 있고 주로 미국. 호주, 캐나다, 폴란드, 프랑스, 아일랜드, 스페인, 오스트리아, 이탈리아, 중국, 페루, 모로코 및 남아프리카공화국 등지에 분포한다(Fig. 8). 전세계 MVT형 광상의 품위는 2-8% Zn, 0-6% Pb이고 아연 품위가 증가함에 따라 연 품위도 증가한다. 또한 이 형의 연+아연 품위는 2-6% 정도이며 아연/(아연 + 연)의 비율은 0.85 정도이다. 중국은 Chaihe 및 Liaoning 광화대 지역에 분포한다(KIGAM, 2006).

IOCG(Iron oxide copper-gold deposits)형 광상은 태평양 주위지역 및 선캠브리아기의 순상지에 주로 분포된다(Carlon, 2000)(Fig. 10). 이 그림에 대한 주된 광상에 대한 정보(위치, 품위, 매장량 등)는 Table 7에 이 표시되어 있다. 이 형의 광상은 20% 이상의 철산화물을 함유하고 있다(Corriveau, 2007). IOCG형 광상에 대한 품위, 광량, 대표적인 광산 및 나라를 살펴보면 Table 7과 같으며 스웨덴과 호주의 Kiruna district와 Olympic Dam에서 높은 광량을 갖는다. 또한 철뿐만 아니라 구리, 금, 희토류원소에 대한 품위가 높게 나타난다. 특히, 호주의 Olympic Dam 광상은 전세계에서 가장 큰 우라늄(1백 4십만톤)을 갖고 있으며 구리(4천 2백만 7천톤)와 금(55.1 M ounces)을 갖고 있다(Orris and Grauch, 2002). 중국의 Bayan Obo 광상은 희토류원소의 품위가 6% 로써 전세계에서 가장 큰 희토류광상으로 광량이 4천 8백만톤에서 1억톤 정도이다(Smith and Chengyu, 2000)(Table 7). IOCG형 광상의 구리 및 금 품위는 반암형 및 VHMS형 광상의 구리와 금 품위와 비교할 때, 구리 품위는 반암형 광상보다 높은 값을 갖으며 금의 품위는 반암형과 VHMS형과 비슷하다(Fig. 11).

마그마성 Ni-Cu-PGE형 광상은 주로 염기성 또는 초염기성 암체와 관련되며 142여 이상의 광상이 분포한다(Eckstrand and Hulbert, 2007)(Fig. 12). 또한 Fig. 12에는 풍화에 의해 형성된 니켈 라테라이트형 광상들도 도시되어 있다. 이 그림에서 보는 것과 같이 니켈은 주로 호주, 보츠와나 공화국, 브라질, 중국, 콜롬비아, 쿠바, 도미니카 공화국, 그리스, 인도네시아, New Caledonia, 필리핀, 러시아, 남아프리카공화국, 베네수엘라 및 짐바브웨에서 주로 생산된다(Fig. 12). 니켈은 마그마성 Ni-Cu-PGE형 광상(40% = 러시아, 호주, 캐나다, 남아프리카공화국)와 라테라이트형 광상(60%=인도네시아, New Caledonia, 브라질, 필리핀)에서 주로 존재하나 상당량의 니켈이 해저(태평양, 인도해양)에 망간단괴와 함께 존재한다. 이 형의 광상에서 니켈 품위는 0.7-3%이며 구리 품위는 0.2-2%로써 이 형의 광상들이 주된 니켈 생산지이다. 마그마성 Ni-Cu-PGE형 광상은 코마타이트(komatiites), 쏠레이아이틱

Table 6. Grade and tonnage of major global SEDEX deposits

Deposit	Country	Age	Geological Resources(maximumsize)						
			Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Ore (Mt)	Zn+Pb (Mt)
HYC(McArthurRiver)	Australia	LatePaleoproterozoic	0.20	9.20	4.10	41.00		237.00	31.52
Talvivaara	Finland	Paleoproterozoic	0.14	0.53		2.60		221.00	1.17
Mehdiabad	Iran	Cretaceous		7.20	2.30	51.00		218.00	20.71
BrokenHill	Australia	Paleoproterozoic	0.10	11.00	10.00	180.00	0.10	205.00	43.05
Ozernoe	Russia	EarlyCambrian	1.20	6.20		37.00		180.00	11.16
RedDog	U.S.	Mississippian		16.60	4.60	83.00		165.00	34.98
Sullivan	Canada	Mesoproterozoic		5.86	6.08	67.36		162.00	19.33
Gamsberg	Africa	Mesoproterozoic		7.10	0.55			150.00	11.47
MountIsa	Australia	LatePaleoproterozoic		6.80	5.90	148.00		124.00	15.75
Arditurri	Spain	LateCarboniferous	1.00	8.00		50.00		120.00	9.60
HowardsPass(total)	Canada	EarlySilurian		5.00	2.00	17.00		120.00	8.40
Century	Australia	Mesoproterozoic		10.20	1.50	36.00		118.00	13.81
Saladipura	India	Paleoproterozoic		1.25				115.00	1.44
BigSyncline	Africa	MiddlePaleo-proterozoic	0.09	2.45	1.01	12.90		101.00	3.49
Jiashengpan	China	Paleoproterozoic		3.80	1.30			100.00	100.00
Filizchai	Azerbaijan	EarlyJurassic	0.64	4.50	2.00		54.00	100.00	100.00
BrokenHill	Africa	MiddlePaleo-proterozoic	0.34	1.77	3.57	48.10		85.00	85.00
BlackMountain	Africa	MiddlePaleo-proterozoic	0.75	0.59	2.67	30.00		82.00	85.00
Limonitovoye	Russia	Neoproterozoic	0.70	1.90	80.00	85.00			
NavanSindesarKalanEast	Ireland	MississippianPaleoproterozoic		8.04	2.68			78.00	8.34
Sindesar Kalan East	India	Paleoproterozoic		2.13	0.51			70.00	1.85
Changba-Lijiagou	China	MiddleDevonian		10.99	1.92			68.00	8.79
Rampura-Agucha	India	Paleoproterozoic		13.60	1.90	45.00		64.00	9.87
HowardsPass(Anniv)	Canada	EarlySilurian		5.40	2.10	25.00		61.00	4.58
Meggen	Germany	MiddleDevonian	0.17	5.83	0.83			60.00	4.00
HowardsPass(XY)	Canada	EarlySilurian		5.40	2.10	9.00		59.00	4.43
Faro	Canada	LateCambrian		5.70	3.40	36.00		58.00	5.24
Rajpura-Dariba	India	Paleoproterozoic	0.15	2.04	2.79	113.88	0.28	56.00	2.68
Tekeli	Kazakhstan	Neoproterozoic	1.00	6.00	5.00			50.00	5.50
RoshPinah	Namibia	Neoproterozoic	0.10	7.00	2.00			50.00	4.50
Hilton	Australia	LateMesoproterozoic		9.30	6.50	151.00		49.00	7.74
Cannington	Australia	Paleoproterozoic		4.30	10.90	493.00		47.00	7.19
DugaldRiver	Australia	Mesoproterozoic		13.28	2.09	42.00		43.00	6.59
MokanpuraNorth	India	Paleoproterozoic		2.40	0.60			40.00	1.20
Zinkgruvan	Sweden	Paleoproterozoic		10.00	1.50		45.00	40.00	4.60
Cirque	Canada	LateDevonian		8.00	2.20	47.20		39.00	3.93
Su-Lik	U.S.	Mississippian		8.00	2.00	30.00		34.00	3.40
Aguilar	Argentina	EarlyOrdovician	0.05	8.50	6.50	150.00		32.00	4.83
Elura	Australia	Devonian		8.62	5.58	108.98		32.00	4.57
Grum	Canada	LateCambrian		4.90	3.10	49.00		31.00	2.46
RoshPinah	Africa	Neoproterozoic	0.10	7.25	2.10	11.00		30.00	2.76
Mochia	India	Paleoproterozoic		3.79	1.69			27.00	1.47
CitronenFjord	Denmark	Ordovician		7.50				25.00	1.88
Rammelsberg	Germany	MiddleDevonian	1.07	18.06	8.59			25.00	6.58
HiltonNorth(GeorgeFisher)	Australia	LateMesoproterozoic		12.10	6.40	110.00		23.00	4.26
Lisheen	Ireland	Mississippian		11.50	1.90	26.00		22.00	2.97
Balmat	U.S.	Mesoproterozoic		9.00	0.50			21.00	1.99
Franklin	U.S.	Mesoproterozoic		19.60				20.00	4.00
Qingchengzi	China	MidfdleProterozoic		2.00	3.00		75.00	20.00	1.00
Zhairem	Kazakhstan	LateDevonian	0.50	5.00	2.00			20.00	1.40

Source : Goodfellow and Lydon(2007)

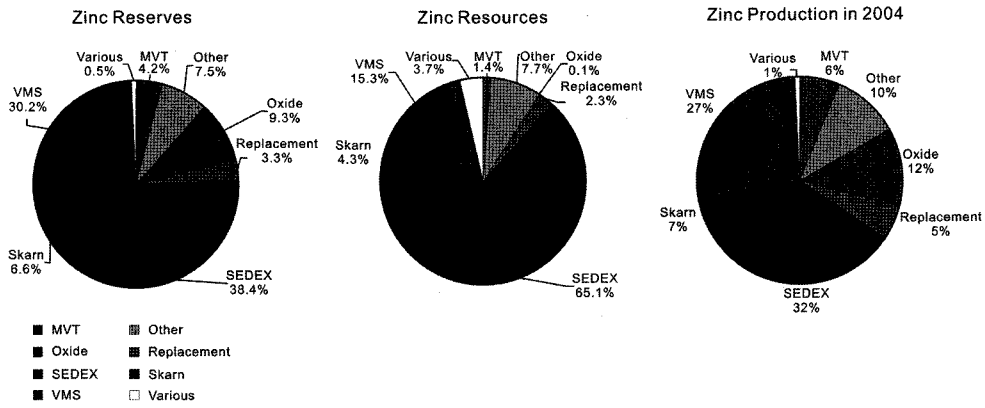


Fig. 9. Zinc reserves, zinc resources, and zinc production in 2004 of different deposits models(Source : Goodfellow and Lydon(2007)).

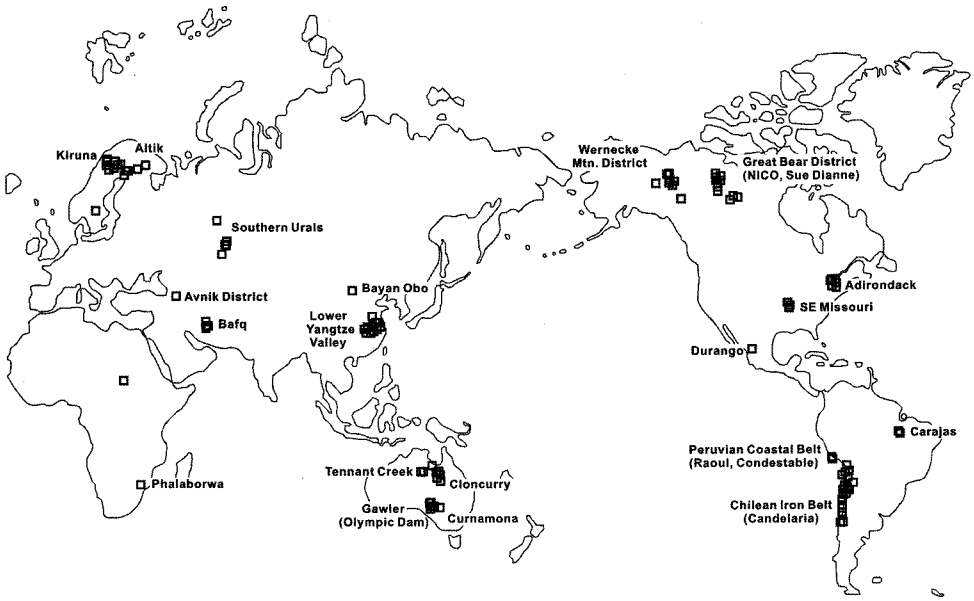


Fig. 10. World map showing the locations of IOCG districts and important deposits(Source : Corriveau(2007)).

염기내지 초염기성 관입암체(tholeiitic mafic-ultramafic intrusions), 대지 현무암과 관련된 관입암체(intrusions related to flood basalts), 운석 충격흔(astrobleme-associated) 및 열수-재이동(hydrothermal-remobilized)과 관련된다. 이들 각 관입암체에 따른 니켈 품위 및 대표적인 광상들은 Fig. 13과 같다. 여기에서 광량이 높은 광상들은 Sudbury, Noril'sk, Platreef 및 Duluth 광상들이다. 이들 각 관입암체에 따른 니켈의 광량은 쏠레이아이틱 염기내지 초염기성 관입암체(32%; basal Ni-Cu 황화광물(20%), 층준규제 PGEs-Ni-Cu 황화광물(12%)), 대지 현무암과 관련된 관입암체(30%), 운석 충격흔(20%) 및 코마타이트(18%)이다(Hoatson *et al.*, 2006).

6. 토의 및 결론

최근들어 국제사회의 불안 및 경제적 요인에 의해 금속자원의 가격이 급등하고 있다. 그래서 해외 금속자원 탐사 및 개발에 관련된 많은 기업들 및 연구소에서는 해당 국가에 대한 정치, 경제, 군사 등 금속자원

Table 7. Resources of selected IOCG deposits

Deposit	Country	Resources[1]	Grade
Pea Ridge	US	120 Mt	57% Fe
Kiruna district	Sweden	3400 Mt	60% Fe (400 Mt prodiced)
NICO	Canada	42 Mt	0.5g/t Au, 0.1% Co, 0.12% Bi
		1500 Mt	35% Fe
Bayan Obo	China	48~100 Mt	6% REE_2O_3
		1 Mt	0.13% Nb
Phalaborwa	South Africa	850 Mt	0.5% Cu (+Au, Ag, PGE, U, Zr, REE, Ni, Se, Te, Bi)
Monakoff	Australia	1 Mt	1.5% Cu, 0.5 g/t Au (Pb, Zn, U)
Eloise	Australia	3 Mt	5.5% Cu, 1.4 g/t Au (+Fe, Ni)
Starra	Australia	7.4 Mt	1.9% Cu, 3.8 g/t Au (ironstone)
Sue Diane	Canada	17 Mt	0.72% Cu, 2.7 g/t Ag
Osborne	Australia	15.5 Mt	3.0% Cu, 1.05 g/t Au (metamorphosed)
Ernest Henry	Australia	167 Mt	1.1% Cu, 0.5 g/t Au
Igarape Bahia	Brazil	170 Mt	1.5% Cu, 0.8 g/t Au
Sossego	Brazil	355 Mt	1.1% Cu, 0.28 g/t Au
		380 Mt[2]	0.4% Cu, 0.2 g/t Au, 4 g/t Ag[2]
Aitik	Sweden	226 Mt[3]	0.37% Cu, 0.2 g/t Au, 3 g/t Ag[3]
		850 Mt	
Candelaria	Chili	470 Mt	0.95% Cu, 0.22 g/t Au, 3.1 g/t Ag
Cristalino	Brazil	500 Mt	1% Cu, 0.30 g/t Au
Manto Verde	Chili	600 Mt	0.5% Cu, 0.1 g/t Ag
Salobo	Brazil	789 Mt	0.96% Cu, 0.52 g/t Au
		3810 Mt	1.1% Cu, 0.4 kg/t U_3O_8, 0.5 g/t Au
Olympic Dam	Australia	2000 Mt	0.24~0.45% La+Ce; 0.3285% REO

[1]calculated; [2]produced; [3]reserve. Source : Corriveau(2007)

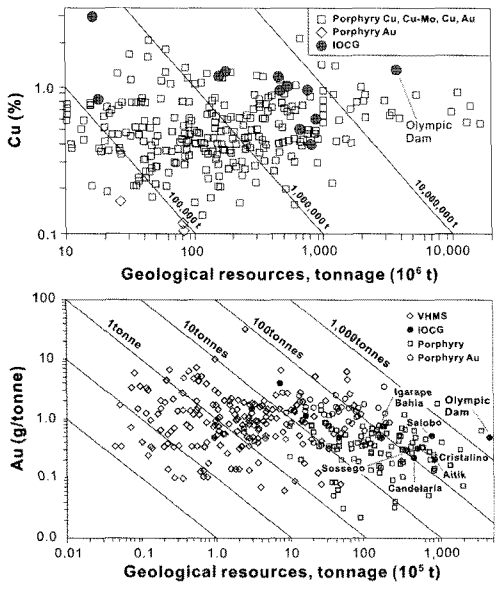


Fig. 11. Cu grade and tonnage characteristics of the geological resources of IOCG deposits with respect to those of porphyry Cu based on Kirkham and Sinclair (1996). Au grade and tonnage characteristics of IOCG, VHMS and porphyry Cu deposits from Kirkham and Sinclair (1996) and Galley *et al.* (2007) (Source : Corriveau(2007)).

개발에 따른 관련 조항들을 적극 검토하고 탐사 및 개발을 진행하고 있다. 또한 국내 많은 학회지에서도 해외자원에 대한 논문들이 발표되고 있다. 이들 논문에서는 각 국가의 금속자원 분포현황, 생산동향 및 투자환경 등이나 특정 지역의 지질 및 금속자원에 대해 기술되어 있다(Lee and Kim, 2003; Kim *et al.*, 2004a; 2004b; Kim and Lee, 2006; 2007a; 2007b; 2007c; 2008; Heo *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2008). 물론 자원 선진국(호주, 미국, 캐나다, 뉴질랜드 등)에서는 이미 광상에 대한 탐사, 개발 및 성인 연구 방향이 단일 광상의 성인 연구뿐 만 아니라 여러 광종의 광상에 대한 지체구조, 화성활동 및 변성작용 등 여러 광상 형성 요소들과 관련하여 해석하고 있다.

현재 우리나라의 금속자원 주요 수입국가는 호주(금, 은, 은광, 연광, 아연광, 철광, 망간광, 티타늄광), 미국(은, 은광, 연광, 아연광, 텅스텐광, 몰리브덴광, 니켈), 중국(은, 텅스텐광, 몰리브덴광, 크롬광) 등이 있다. 2008년 지식경제부(구 산업자원부)에 신고된 해외광물자원개발 사업 진행 현황을 살펴보면 총 111개로 참여회사는 82개로써 일부 대기업 또는 공사 등이 포함되어 있으나 중소기업들이 많다. 그리고 국가로는 호주,

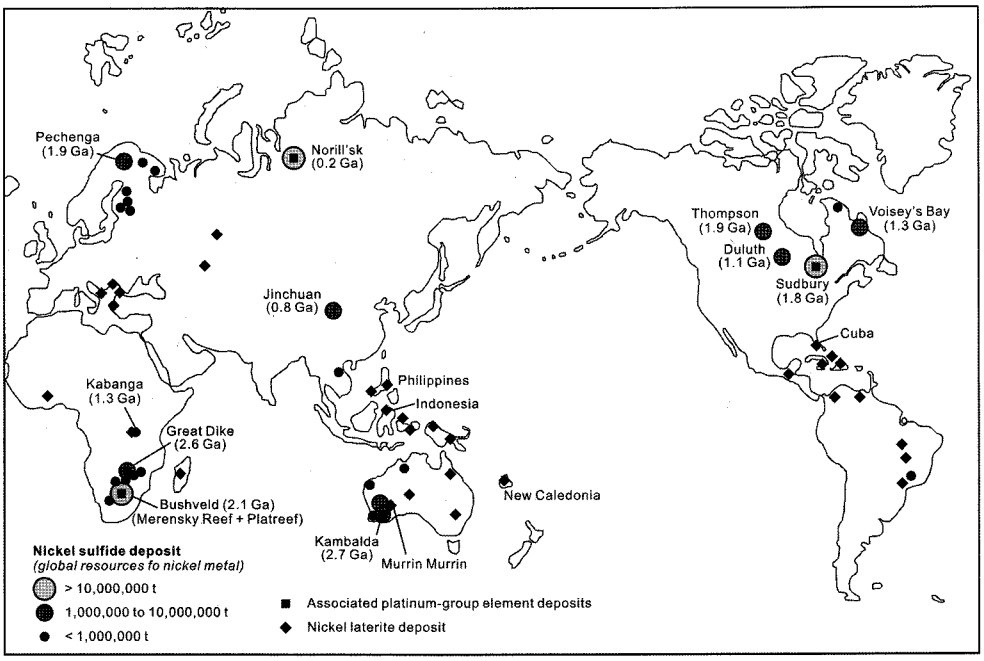


Fig. 12. World map showing the distribution of significant sulfide and laterite nickel deposits. Sulfide deposits containing important by-products of PGEs or have associated PGE-Ni deposits are also shown. Distribution of laterite deposits after Elias (2002)(Source : Hoatson *et al.*(2006), Eckstrand and Hulbert(2007)).

인도네시아, 몽골, 중국, 키르키즈스탄, 캐나다 및 라오스 등이나 몽골, 호주, 인도네시아 및 중국 등이 많은 부분을 차지한다(Fig. 1). 따라서 몽골 및 중국의 금속자원은 Table 3에 기술한 동북아시아에서 발견되는 광상형을 참조하여 향후 이들 국가에서 자원 탐사 및 개발에 도움이 될 것이다. 또한 이들 4개 나라에서 진행하는 사업은 석탄이 가장 많고 일부 구리, 금, 철, 연, 아연 및 니켈 등이며 아직까지 대부분이 조사 및 개발 단계로써 시작 단계에 불과하다. Table 2에서는 각 금속자원에 대한 전세계 매장량 및 주요 국가별 광산 생산량을 나타내었으며 각 금속자원에 대한 유형별 광상들의 주광종 및 미량 광종들에 대한 품위도 나타내었다(Tables 4, 5, 6, 7). 이들 도표에서 호주는 코발트, 구리, 금, 철, 연, 망간, 니켈, 은, 티탄늄 및 아연 등의 매장량과 생산량이 높고 중국은 안티모니, 비소, 비스무스, 카드뮴, 금, 철, 연, 망간, 몰리브덴, 은, 주선, 티탄늄, 텅스텐 및 아연 등의 매장량과 생산량이 높다. 인도네시아는 구리, 금 및 주석 등의 매장량과 생산량이 높으며 몽골은 몰리브덴의 광산 생산량이 있다. 미국과 남중국에 대한 광상유형별 금속자원의 매장량과 금액을 살펴보면 다음과 같다. 1996년 미국의 미개발 금속자원은 금 14,000톤, 은 430,000톤, 구리 280,000 킬로톤, 연 55,000 킬로톤 및 아연 150,000 킬로톤이고 이것을 금액으로 환산하면 5450억달러(반암형), 2060억달러(층준형-분산), 1630억달러(교대형), 1480억달러(층준형-괴상) 및 1380억달러(맥상형)에 해당된다(USGS, 1996). 또한 남중국의 금속자원에 대한 광상유형별 자원을 살펴보면, 구리는 반암형 광상 61%(21,600,000톤), 스카른형 광상 19%(6,700,000톤), VMS형 광상 6.6%(2,300,000톤), SEDEX형 광상 5%(1,800,000톤), 천열수형 금-은 광상 4.5%(1,600,000톤) 및 Noril'sk형 광상 3.7%(1,300,000톤)이다. 연-아연는 SEDEX형 광상 57%(22,200,000톤), MVT형 광상 23.0%(9,100,000톤), VMS형 광상 12.5%(4,900,000톤), 스카른형 광상 6.5%(2,600,000톤) 및 반암형 광상 1%(1,800,000톤) 이다. 금은 조산 lode형 광상 43%(1,430톤), 반암형 광상 20%(669톤), 스카른형 광상 19%(625톤), 칼린형 광상 14%(460톤), 천열수형 금-은 광상 2%(65톤), SEDEX형 광상 1.5%(49톤) 및 VMS형 광상 0.5%(13톤)이다. 은은 천열수형 금-은 광상 37%(6,925톤), 반암형 광상 35%(6,587톤), MVT형 광상 11%(2,062톤), SEDEX형 광상 10%(2,000톤), VMS형 광상 6%(1,140톤) 및 스카른형 광상 1%(150톤)이다(Zaw *et al.*, 2007). 이들 내용과 앞의 광상유형별 해외

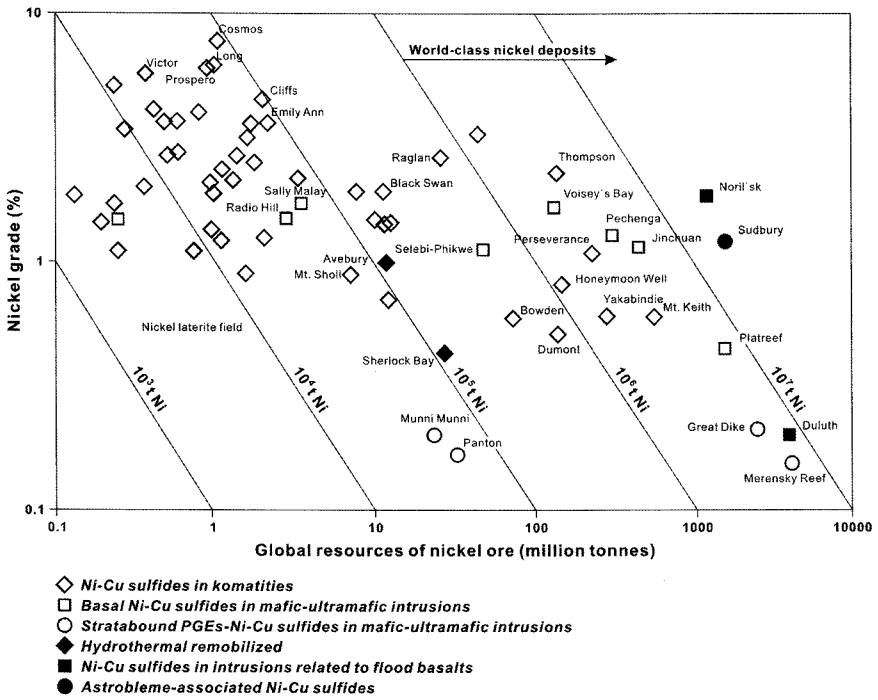


Fig. 13. Logarithmic plot of nickel grade(wt.%) versus global resources fo nickel ore (production plus reserves and resources in million tonnes) for the major nickel sulfide deposits of the world(Source : Hoatson *et al.*(2006)).

금속자원에서 살펴보았듯이, 특정 금속자원에 대한 매장량이 풍부한 광상유형들이 따로 있으며 지체구조 및 화성활동과 관련되어 연관된 금속자원들이 zoning을 이루고 만들어 진다. 이와 같이 금속자원에 대한 광상유형별 분류는 금속자원에 대한 매장량과 같은 정보 뿐만 아니라 광상 생성환경 및 향후 그 주변지역에 대한 미개발 광체 탐사 모델에도 적용될 수 있기 때문에 매우 중요하다고 생각된다.

현재 해외자원개발의 문제점은 1)해외 금속자원개발을 위한 재원의 부족, 2)해외 금속자원 개발시 투자 및 회임에 장기간이 소요되고 실패에 대한 부담감도 크고 사업을 성공적으로 이끌고 나갈 전문인력이 부족, 3)금속자원개발 전문기업이 부족, 4)전세계 메이저 회사들이 자원시장에 대한 독과점 및 4)해외 금속자원개발 투자의 형태가 대부분 단순지분투자의 방식이 많다는 것 등이 있다(Kim, 2008). 이와 더불어 자원부국들은 최근들어 자원민족주의가 강해졌으며 해외 메이저 광업회사, 많은 선진공업국 및 신흥공업국에서 해외 금속자원의 확보 경쟁에 치열하기 때문에 실질적으로 해외 금속자원을 확보하기란 매우 어려워졌다. 따라서 이러한 단점들을 극복하기 위해 한국형 개발전략인 금속자원개발과 이때 필요한 발전소, 제련 인프라 및 SOC 건설 등을 상호 연계하는 패키지형 자원개발로 해외자원을 확보하려고 시도하고 있다.

최근 정부는 해외 금속자원개발을 위한 투자재원을 대폭 확충하고 풍부한 유동자금을 해외 금속자원개발에 활용하기 위해 자원개발펀드를 활성화해 나갈 계획이라고 발표하였다. 따라서 향후 해외 금속자원의 탐사 및 개발에 있어 우선 각 국가별 매장량, 주요 광물자원의 생산량과 지체구조 및 화성활동과 관련된 광상유형별 광종, 품위, 매장량, 분대(zoning), 광상생성환경 등을 종합 검토하여 조사 및 탐사를 실시한다면, 현재 많은 민/관 회사들은 탐사대상지역에서 품위가 높은 광체를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 계속된 탐사에 의해 그 탐사대상 주변에서도 수익성이 높은 광체 등을 기대할 수 있을 것이다. 이는 곧 경제성 광구의 확보가 가능해 진다는 것이고 정부의 해외 금속자원 자급률을 높일 수 있는 밑거름이 될 것이다.

사 사

이 연구는 환경지질정보센터의 일부 지원에 의해 연구되었다. 이 기관에 사의를 표한다. 심사과정에서 미비점을 지적, 보완하여 주신 한국지질자원연구원 염승

준 박사님과 익명의 심사위원님께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

Carlon, C.J. (2000) Iron oxide systems and base metal mineralisation in northern Sweden, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective: PGC Publishing, Adelaide, v. 1, p. 283-296.

Corriveau, L. (2007) Iron oxide copper-gold (±Ag±Nb ±P±REE±U) deposits: A canadian perspective. In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 307-328.

Dube, B. and Gosselin, P. (2007) Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits(orogenic, mesothermal, lode gold, shear-zone-related quartz-carbonate or gold-only deposits). In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 49-74.

Dube, B., Gosselin, P., Hannington, M. and Galley, A. (2007) Gold-rich volcanogenic massive sulphide deposits. In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 75-94.

Eckstrand, O.R. and Hulbert, L. (2007) Magmatic nickel-copper-platinum group elements deposits. In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 205-222.

Elias, M. (2002) Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploration. In: Cooke, D.R., Pongratz, J. eds., Giant ore deposits: Characteristics, genesis, and exploration. Centre for ore deposit research special publication, v. 4, p. 205-220.

Franklin, J.M., Lydon, J.W. and Sangster, D.F. (1981) Valcanic-associated massive sulfide deposits. in Skinner, B.J., ed., Economic Geology 75th Anniversary Volume, p. 485-627.

Galley, A.G., Hannington, M.D. and Jonasson, I.R. (2007) Volcanogenic massive sulphide deposits. In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 141-162.

Goldfarb, R.J., Groves, D.I. and Gardoll, S. (2001) Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geology Reviews, v. 18, p. 1-75.

Goodfellow, W. and Lydon, J. (2007) SEDEX deposits. In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 163-184.

Groves, D.I. (1993) The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. Mineralium Deposita, v. 28, p. 366-374.

Hannington, M.D., Barrie, C.T. and Bleeker, W. (1999a) The giant Kidd Creek Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Western Abitibi Subprovince, Canada, in Hannington, M.D., and Barrie, C.T., eds., The Giant Kidd Creek Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Western Abitibi Subprovince, Canada. Economic Geology Monograph 10, p. 1-30.

Hannington, M.D., Bleeker, W. and Kjarsgaard, I. (1999b) Sulfide mineralogy, geochemistry and ore genesis of the Kidd Creek deposit: Part II. The bornite zone, in Hannington, M.D., and Barrie, C.T., eds., The Giant Kidd Creek Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Western Abitibi Subprovince, Canada. Economic Geology Monograph 10, p. 225-266.

Hannington, M.D., Poulsen, K.H., Thompson, J.F.H. and Sillitoe, R.H. (1999c) Volcanogenic gold in the massive sulfide environment, in Barrie, C.T., and Hannington, M.D., eds., Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings. Reviews in Economic Geology 8, p. 325-356.

Heo, C.H., Lee, J.H., Kim, Y.D. and Kim, B.C. (2007) Geology of the Boroo gold deposit, Northern Mongolia. Economic and Environmental Geology, v. 40, p. 331-338.

Hoatson, D.M., Jaireth, S. and Jaques, A.L. (2006) Nickel sulfide deposits in Australia: Characteristics, resources, and potential. Ore Geology Reviews, v. 29, p. 177-241.

Hunt, B. (2006) Lead and zinc costs: Miners and projects, 2006 Edition: Surrey, England, Brook Hunt and Associated Ltd.

KIGAM (2006) Study on the Genetic Environments of Metallogenic Provinces of NE Asia. 461p.

KIGAM (2008) Resource information (monthly) (http://rik.kigam.re.kr).

Kim, I.J. and Lee, J.H. (2006) Occurrence of placer gold deposits from the Takaoi area of the middle Kalimantan, Indonesia. Economic and Environmental Geology, v. 39, p. 191-212.

Kim, I.J. and Lee, J.H. (2007a) Metallic mineral resources in Cambodia. Economic and Environmental Geology, v. 40, p. 339-345.

Kim, I.J. and Lee, J.H. (2007b) Preliminary study for the Tapajos gold mine province, Brazil. Economic and Environmental Geology, v. 40, p. 497-501.

Kim, I.J. and Lee, J.H. (2007c) Introduce to information on the geology and mineral provinces of Brazil. Economic and Environmental Geology, v. 40, p. 827-832.

Kim, I.J. and Lee, J.H. (2008) Preliminary study for the Igarape Bahia deposit in Carajas province, Brazil. Economic and Environmental Geology, v. 41, p. 145-149.

Kim, I.J., Lee, J.H., Lee, S.R., Seoo, J.R., Kim, Y.B. and Lee, G.H. (2004a) The trench exploration of the gold deposits of the Tanggung area of Java, Indonesia. Economic and Environmental Geology, v. 37, p. 277-290.

Kim, I.J., Lee, J.H., Seo, J.R., Lee, S.R., Kim, Y.B. and Lee, G.H. (2004b) The present of state of the metal

and gold deposits, Indonesia. Economic and Environmental Geology, v. 37, p. 269-276.
Kim, Y.H. (2008) The policy direction and development condition of oversea mineral resource. Symposium of oversea mineral resource development, p. 7-10.
Kim, Y.D., Park, H.S., Kim, S.Y. and Heo, C.H. (2008) An analysis on mineral resources policies of China. Economic and Environmental Geology, v. 41, p. 151-163.
Kirkham, R.V. (1972) Porphyry deposits; in report of activities, Part B: November 1971 to March 1972: Geological Survey of Canada, Paper 72-1, p. 62-64.
Kirkham, R.V. and Sinclair, W.D. (1996) Gites porphyriques de cuivre, de molybdene, d'or, de tungstene, d'etain et d'argent, in Eckatrand, O.R., Sinclair, W.D., et Thorpe, R.I., eds. Geologie des types de gites mineraux du Canada. Commission geologique du Canada, Geologie du Canada, v. 8, p. 468-495.
Kwon, S.J. (2008) Development strategy of oversea resource for major mineral resource. Symposium of oversea mineral resource development, p. 19-31.
Large, R.R. (1992) Australian volcanic-hosted massive sulphide deposits: features, styles and genetic models. Economic Geology, v. 87, p. 471-510.
Lee, J.H. and Kim, I.J. (2003) Geologic, fluid inclusion, and sulfur isotopic studies of hydrothermal deposit in the Tanggueng district, West Java, Indonesia. Economic and Environmental Geology, v. 36, p. 321-328.
Lee, J.H., Kim, I.J. and Kim, B.C. (2007) The scheme of the mineral resources and investment opportunity, the Republic of Kazakhstan. Economic and Environmental Geology, v. 40, p. 503-511.
Lee, H.K., Moon, H.S. and Oh, M.S. (2007) Economic mineral deposits in Korea. 762p.
Ministry of Knowledge Economy (2008) Development of oversea resources (http://www.mke.go.kr/index2.html).
Orris, G.J. and Grauch, R.I. (2002) Rare earth element mines, deposits, and occurrences: USGS, Open-File Report 02-189, 174p.
Paradis, S., Hannigan, P. and Dewing, K. (2007) Mississippi valley-type leas-zinc deposits(MVT). In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 185-204.
Sinclair, W.D. (2007) Porphyry deposits. In Wayne, D.G. (eds), Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Survey of Canada, p. 223-244.
Singer, D.A. (1995) World-class base and precious metal deposits - a quantitative analysis. Economic Geology, v. 90, p. 88-104.
Smith, M. and Chengyu, W. (2000) The geology and genesis of the Bayan Obo Fe-REE-Nb deposit: A review, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective: PGC Publishing, Adelaide, v. 1, p. 271-281.
USGS (2003) Open-File Report (http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-220).
USGS (2006) National mineral-resource assessment: The 1996 estimate of undiscovered gold, silver, copper, lead, and zinc remaining in the United States (http://pubs.usgs.gov/info/assessment).
USGS (2007) Introduction to Regional Geology, Metallogenesis, and Tectonics of Northeast Asia. Open-File Report 2007-1183-A(58p.), Open-File Report 2007-1183-B(43p.), Open-File Report 2007-1183-C(123p.), Open-File Report 2007-1183-Appendix A(24p.), Open-File Report 2007-1183-Appendix B(26p.), Open-File Report 2007-1183-Appendix C(43p.).
USGS (2008) Mineral commodity summaries 2008. 199p.
Yang, D.Y. (1991) Mineralogy, petrology and geochemistry of the magnesian skarn-type magnetite deposits at the Shinyemi mine, Republic of Korea. Ph.D. thesis, Waseda University, 323p.
Zaw, K., Peters, S.T., Cromie, P., Burrett, C. and Hou, Z. (2007) Nature, diversity of deposit types and metallogenic relations of South China. Ore Geology Reviews, v. 31, p. 3-47.

2008년 9월 1일 원고접수, 2008년 12월 22일 게재승인.