

동북아시아 광물자원 분포지의 광상성인대

황덕환*

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 (dhhwang@kigam.re.kr)

1. 서론

1997년부터 2003년까지 미국지질조사소(USGS)를 중심으로 동북아시아 관련국들, 즉 러시아, 중국, 몽골, 한국 및 일본 등이 공동으로 수행한 “동북아시아 광물자원, 광상성인 및 지체구조”라는 국제공동 연구과제가 수행되었고, 본 연구문은 그 중 광물자원평가 및 광상성인대(帶)를 중심으로 한 것이다. 동북아시아에는 다양한 광물자원이 풍부히 매장되어 있다. 이들 광물자원이 분포되고 있는 곳의 지질, 지체구조, 광상, 광물자원의 규모 및 광상성인대를 설명해 주는 광상성인대 연구는 동북아시아에 분포하는 광물자원 전반에 대한 이해를 돕는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

본 연구문에서는 광상성인대의 정의, 광상성인대를 정하는 원칙들, 광상성인대 분석방법, 구조운동과 광상성인대, 동북아시아 광상성인대의 특성 및 광상성인대를 이용한 미발견 새로운 광체 찾기 등에 대한 내용을 다룰 것이다.

동북아시아 광상성인대 분포도(圖)에는 300 여개의 개별 광상성인대와 1,700여개의 관련 광상(鑛床)들에 대한 시대별, 성인별 그리고 각 광종에 대한 분석결과를 기초로 1/5,000,000 축척으로 만들어 졌다. 광상성인대의 시대는 12개로 분류하였다(Oblenskiy 등 2001). 미 발견된 새로운 광체 찾기 및 광물자원의 평가를 수행하기 위해 통일된 기술(USGS의 광물자원 평가 3분법)을 적용하였으며 이를 약술하면 다음과 같다. (1) ID, (2) Region, (3) Country, (4) Assessment Date, (5) Tract Name, (6) Tract No., (7) Deposit Type, (8) Assessment Team, (9) Delineation, (10) Significant Deposit, (11) Exploration History, (12) Estimation(90%, 50%, 10%, 1%, 0%), (13) Age Range, Host rock-Geounit, (13) Reference 등이다.

2. 광상성인대(帶)의 정의

광상성인대는 다음과 같이 정의되는데, 즉 “어떤 특별한 지구역학환경(地球力學環境)에서 형성된 광상형태가 동일시기 및 성인적으로 관련이 있는 암석 그룹으로 구성되는 광상구(鑛床區)”이다. 예를 들어 지구역학환경이란 활성 및 비활성 대륙주변부, 호상열도, 퇴적분지 그리고 충돌대를 의미한다. 또 다른 중요한 요인들로는 국지적 광상성인의 요소인 독립된 암상들, 피복하는 암석 복합체, 내부 열곡관 그리고 주향이동단층 등이 포함된다. 동일 광상성인대를 정하는 기준으로는 비슷한 시기의 암층, 광화대, 광상 및 산출지 등을 기본 요건으로 한다.

3. 광상성인대(帶)를 정하는 원칙들

광상성인대의 정의와 윤곽을 쉽게 이해할 수 있게 하기 위한 주요 원칙들은 다음과 같다. (1) 광상들의 조합: 각 광상성인대는 유사한 광상형태나 동일시기 또는 거리상으로 가까이 분포하고 성인적으로 밀접한 관련이 있는 광상들을 같은 종류의 광상으로 한다. (2) 광상형성을 위한 구조 활동: 각 광상성인대는 특별한 구조 활동, 예를 들면 충돌대, 대륙성장, 열곡

대 등의 결과로 형성된 광상들과 광상형성 시기가 동시기적이거나 성인적으로 관련이 있는 광상 그룹들을 광상형성을 위한 동일한 구조 활동의 일환으로 본다. (3) 유리한 지질환경: 광상형태를 이루는데 유리한 지질모암이나 구조운동으로 이루어진다. (4) 지질이나 지체구조의 경계선: 광상성인대는 보통 적절한 암층이나 마그마 물질 또는 기타 열수용액을 이동시키는 단층들에 둘러 쌓여 있다. (5) 광상성인대의 특징은 모암이나 지체구조와 관련됨: 광상성인대의 이름, 경계선 및 구성은 광상그룹과 모암의 특징을 잘 대표한다(Nokleberg 등, 1995).

4. 광상성인대 분석 방법론

광상성인대 및 구조사(構造史) 분석을 위한 방법론으로, (1) 확인된 광상 모델에 따라 분류하고 대표적인 광상들을 기술한다. (2) 광상성인대가 확장되면 이에 대해 기술한다. (3) 크라톤(강괴; 鋼塊), 크라톤 주변부, 지질계통의 조산대, 피복된 암층들, 층서, 지체구조, 변성작용, 동위원소, 동물군 및 기타 자료 등을 기술한다. 구조 환경에는 크라톤, 활성 및 비활성 대륙주변부, 변성작용을 받은 대륙주변부, 대륙주변호(弧), 호상열도, 변환대륙주변호, 대양지각, 해저산(山), 오피오라이트, 첨가 V자골, 서브덕션대(帶), 저탁류퇴적물분지 및 변성작용 등을 포함시킨다(Parfenov 등, 1999). (4) 지질계통들의 대비, 피복된 암층들 및 광상성인대에 함유된 암층들을 고려한다. (5) 동일 시기의 지질계통에 포함된 광상성인대는 개개의 광상성인과 구조성인으로 세분한다. (6) 화성호(火成弧)와 서브덕션대의 지질계통들은 구조적인 연관성과 관련된 광상성인대에 따라 동일 시기적인 것과 호(弧)-서브덕션대 콤플렉스 등으로 세분한다. (7) 지질, 동물군 및 고지자기 자료들을 사용하여 지질계통의 원 위치와 그들의 광상성인대를 해석한다. (8) 지질계통의 구조적 이동 통로가 포함된 광상성인대를 작성한다. (9) 추가된 지질계통들과 포함된 광상성인대의 시기와 특성은 지질시기와 구조자료에 의해 결정한다. (10) 충돌대와 관련된 지질계통들과 그들이 포함된 광상성인대의 특징은 지질과 동위원소의 시기에 관한 자료로 결정한다. (11) 나중에 추가된 피복하는 암층들과 그들이 포함된 광상성인대의 특징과 시기는 지질 및 동위원소의 시기에 관한 자료로 결정한다.

5. 구조운동과 광상성인대

동북아시아 지역에서 중요한 지구역학운동 및 광화작용에 의하면 광상성인대 형성을 위해 적어도 12번의 기간이 있었음을 알 수 있다. 고기(古期)에서 신기(新期)에 이르는 이들 기간은 다음과 같다. (1) 시생대(>2500 Ma)의 알단(Aldan)순상지와 북중국 크라톤 광상성인대, (2) 원생대 고기(2500-1600 Ma)의 알단(Aldan) 순상지 및 북중국 크라톤 광상성인대, (3) 원생대 중기(1600-1000 Ma)의 투바-몽골(Tuva-Mongolian) 소대륙 광상성인대, 알단(Aldan) 순상지 및 북중국 크라톤 광상성인대, (4) 원생대 말기(1000-540 Ma)의 페리크라톤(Pericratonic) 북아시아 크라톤 광상성인대, (5) 캄브리아기-사일루리아기(540-410 Ma)의 고생대 초기 중앙아시아의 조산대의 호상열도와 시노-코리안(Sino-Korean) 크라톤의 광상성인대, (6) 데본기-석탄기 초기(Mississippian, 410-320 Ma)의 고생대 중기 활성 대륙주변부, 배후호(背後弧; back-arc)분지, 협곡, 북시베리아 크라톤의 내부판 협곡 광상성인대, (7) 석탄기 말기(Pennsylvanian)-트라이아스기 중기(320-230 Ma)의 북시베리아 크라톤의 내부판 협곡, 몽골 중부 및 몽골-오츠크 습곡지역 광상성인대, (8) 트라이아스기 말기-쥬라기 초기(230-175 Ma)의 타이미르(Taimyr) 습곡대, 알타이-사이안(Altai-Sayan) 및 몽골 중부 습

곡대의 화강암 관입과 연관된 광상성인대, 북중국 크라톤 광상성인대, (9) 유라기 중기-백악기 초기(175-96 Ma)의 몽골-오츠크(Mongolo-Okhotsk) 및 베르코이안-코리마(Verkhoyan-Kolyma) 습곡지역 광상성인대, (10) 세노마니아세-캄파니아세(Cenomanian-Campanian, 96-72 Ma)의 베르코이안-코리마(Verkhoyan-Kolyma) 및 시코트-아린(Sikhote-Alin) 습곡지역 광상성인대, (11) 마스트릭티아세-올리고세(Mastrichtian-Oligocene: 백악기 말 - 고제3기(Late Cretaceous Through Paleogene; 72-24 Ma)의 베르코이안-코리마(Verkhoyan-Kolyma) 및 시코트-아린(Sikhote-Alin) 습곡지역 광상성인대, (12) 마이오세-제4기(24-0 Ma)의 시코트-아린(Sikhote-Alin) 습곡지역 및 이들의 광상성인대 등이다(Oblenskiy 등 2001).

6. 시대별 광상성인대 및 특성

시생대 광상성인대(>2500 Ma)

동북아시아 지역에 분포하는 시생대 광상성인대는 모두 8개이다. 시생대 광상성인대는 주로 Aldan 순상지와 북중국 크라톤 광상성인대로 구성된다. 시생대 광상성인대의 분포지는 주로 러시아 Yakutia 남부와 중국 북부지역에 위치하며, 광상은 주로 층상철광상(BIF)으로 구성된다.

원생대 고기 광상성인대(2500-1600 Ma)

원생대 고기(2500-1600 Ma) 광상성인대는 주로 알단(Aldan) 순상지 및 북중국 크라톤 광상성인대로 구성되며 모두 23개이다. 분포지는 러시아 Yakutia 남부, 극동 러시아, 러시아 Tuva 남동부, 몽골 북서부, 몽골 중부, 중국 북부 및 북동부 그리고 한국(남한) 등이다. 광상은 다중금속, 희토류, 층상철광상(BIF) 및 흑연 등으로 구성된다.

원생대 중기 광상성인대(1600-1000 Ma)

원생대 중기(1600-1000 Ma) 광상성인대는 주로 투바-몽골(Tuva-Mongolian) 소대륙 광상성인대, 알단(Aldan) 순상지 및 북중국 크라톤 광상성인대로 구성되며 모두 11개이다. 분포지는 극동 러시아, 몽골, 중국 북부, 중국 북동부 및 한국(남한) 등이다. 광상은 희토류, 퇴적기원 보오크사이트, 흑연, 망간, 층상철광상(BIF) 및 연-아연 등으로 구성된다.

원생대 말기 광상성인대(1000-540 Ma)

원생대 말기(1000-540 Ma) 광상성인대는 주로 페리크라토닉(Pericratonic) 북아시아 크라톤 광상성인대로 구성되며 모두 24개이다. 분포지는 동시베리아, 남동 시베리아, 러시아 Transbaikalia 북부, 몽골 서부-북부-중부, 중국 북부 및 북동부 등이다. 광상은 다중금속, 인광, 희토류, 퇴적기원 보오크사이트 및 층상철광상(BIF) 등으로 구성된다.

캠브리아기-사일루리아기 광상성인대(540-410 Ma)

캠브리아기-사일루리아기(540-410 Ma) 광상성인대는 주로 고생대 초기 중앙아시아의 조산대의 호상열도와 시노-코리안(sino-korean) 크라톤의 광상성인대로 구성되며 모두 41개이다. 분포지는 러시아 Yakutia, 동시베리아, 남동시베리아, 러시아 Transbaikalia 서부, 러시아 Transbaikalia 북동부, 극동러시아, 몽골 서부-북부-중앙부, 몽골 남서부, 중국 북동부 및 중

국 북부 등이다. 광상은 다중금속, 철광, 회토류, 니켈, 티탄철, 석면, 활석, 석고 및 다이아몬드 등으로 구성된다.

데본기-석탄기 초기 광상성인대(410-320 Ma)

데본기-석탄기 초기(Mississippian, 410-320 Ma) 광상성인대는 주로 고생대 중기 활성 대륙주변부, 배후호(背後弧; back-arc)분지, 협곡, 북시베리아 크라톤의 내부판 협곡 광상성인대로 구성되며 모두 38개이다. 분포지는 러시아 Yakutia 북동부-중앙부-남부, 극동러시아, 러시아 Transbaikalia 북부, 남동시베리아, 몽골 서부-북부-남서부-중앙부-남부-남동부 및 중국 북동부 등이다. 광상은 회토류, 다이아몬드, 자연동, 다중금속, 인회석, 보오크사이트, 네펠린, 휘수연석, 중석, 중정석, 안티몬, 주석, 망간, 철, 크롬철, 형석, 반암동광 및 니켈 등으로 구성된다.

석탄기 말기-트라이아스기 중기 광상성인대(320-230 Ma)

석탄기 말기(Pennsylvanian)-트라이아스기 중기(320-230 Ma) 광상성인대는 주로 북시베리아 크라톤의 내부판 협곡, 몽골 중부 및 몽골-오츠크 습곡지역 광상성인대로 구성되며 모두 30개이다. 분포지는 러시아 북쪽해안, 북동시베리아, 동시베리아, 러시아 Yakutia 중앙부와 동부, 극동러시아, 중국북동부, 중국 북서부, 몽골 북서부, 몽골 중앙부-북부-남부, 중국 북동부, 중국 북서부, 중국 북부 및 일본 등이다. 광상은 니켈, 회토류, 철, 중석-휘수연석-녹주석, 반암동광, 우라늄-회토류, 다중금속, 퇴적기원 보오크사이트, 화산-퇴적기원 망간 및 크롬 등으로 구성된다.

트라이아스 말기-쥬라기 초기 광상성인대(230-175 Ma)

트라이아스기 말기-쥬라기 초기(230-175 Ma) 광상성인대는 주로 타이미르(Taimyr) 습곡대, 알타이-사이안(Altai-Sayan) 및 몽골 중부 습곡대의 화강암 관입과 연관된 광상성인대 및 북중국 크라톤 광상성인대로 구성되며 24개이다. 분포지는 북동시베리아, 서시베리아, 러시아 남동시베리아(Tuva 지역), 몽골 서부, 몽골 북부, 몽골 중앙부-동부, 몽골 남부, 중국 북부, 한국(남한) 및 일본 등이다. 광상은 중석-휘수연석-녹주석, 다중금속, 니켈-코발트, 회토류, 주석, 반암동광, 철-아연 스카른, 인회석, 티탄-철, 화산-퇴적기원 망간 및 화산성 동-연-아연(구로코타입) 등으로 구성된다.

쥬라기 중기-백악기 초기 광상성인대(175-96 Ma)

쥬라기 중기-백악기 초기(175-96 Ma) 광상성인대는 주로 몽골-오츠크(Mongolo-Okhotsk) 및 베르코이안-코리마(Verkhoyan-Kolyma) 습곡지역 광상성인대로 구성되며 56개이다. 분포지는 러시아 북동시베리아(Taimyr 반도), Yakutia 중앙부 및 동부, 극동러시아, 남동시베리아(Salair지역, Tuva지역), 동시베리아, Transbaikalia 동부-중앙부, 동남시베리아, 몽골 중앙부-서부-남부, 중국 북서부, 중국 북동부, 몽골 북부, 일본(북해도) 및 한국(남한) 등이다. 광상은 다중금속, 주석-중석, 중석-휘수연석-녹주석, 크롬, 수은-안티몬, 회토류, 우라늄, 천연수금, 은 및 철 스카른 등으로 구성된다.

세노마니아세-캄파니아세 광상성인대(96-72 Ma)

세노마니아세-캄파니아세(Cenomanian-Campanian, 96-72 Ma) 광상성인대는 주로 베르코

이안-코리마(Verkhoyan-Kolyma) 및 시코트-아린(Sikhote-Alin) 습곡지역 광상성인대로 구성되며 31개이다. 분포지는 러시아 Yakutia 중아부-동부, 동시베리아, 극동러시아, 남동시베리아, 일본 및 한국(남한) 등이다. 광상은 은-안티몬, 주석, 다중금속, 수은-안티몬, 천열수 금, 은, 보오크 사이트, 반암동광, 망간, 주석-중석 및 중석-휘수연석-녹주석 등으로 구성된다.

마스트릭티아세-올리고세 광상성인대(72-24 Ma);

(백악기 말 - 고 제 3기 광상성인대)

마스트릭티아세-올리고세(Mastrichtian-Oligocene: 백악기 말-고 제3기(Late Cretaceous Through Paleogene; 72-24 Ma) 광상성인대는 주로 베르코이안-코리마 (Verkhoyan-Kolyma) 및 시코트-아린(Sikhote-Alin) 습곡지역 광상성인대로 구성되며 18개 이다. 분포지는 러시아 Yakutia 북부, 극동러시아 및 일본 등이다. 광상은 천열수 금, 은, 천열수 석영-명반석, 주석-중석, 반암동광 및 휘수연석 등으로 구성된다.

마이오세-제 4기 광상성인대(24-0 Ma)

마이오세-제 4기(24-0 Ma) 광상성인대는 주로 시코트-아린(Sikhote-Alin) 습곡지역 및 일본의 광상성인대로 구성되며 5개이다. 분포지는 주로 일본(북해도) 이다. 광상은 천열수 금, 은, 수은-안티몬-중석, 다중금속 및 망간 등으로 구성된다.

7. 새로운 광체 찾기 및 활용

관련지질환경과 광상들의 조합으로 광상성인대지역이 정해지기 때문에 위에 기술한 정의와 원칙들을 가지고 아직 발견되지 않은 광상들을 예측하는데 활용할 수 있을 것이다. 따라서 광상성인대의 조합 및 활용으로 광물탐사, 국토활용계획 및 환경연구를 하는데 강력한 도구로 이용할 수 있을 것이다. 미 발견된 광물자원을 찾고 평가를 수행하기 위해 통일된 기술(USGS의 광물자원 평가 3분법)을 적용하며 이를 약술하면 다음과 같다. (1) ID, (2) Region, (3) Country, (4) Assessment Date, (5) Tract Name, (6) Tract No., (7) Deposit Type, (8) Assessment Team, (9) Delineation, (10) Significant Deposit, (11) Exploration History, (12) Estimation(90%, 50%, 10%, 1%, 0%), (13) Age Range, Host rock-Geounit, (13) Reference 등이다. 각 광상에 대한 자료를 상기 포맷에 따라 정리하고 새로운 광체를 찾는 기초 자료로 이용할 수 있을 것이다.

8. 결 론

1. 동북아시아 광상성인대 분포도는 12개의 시대로 분류되고 300 여개의 개별 광상성인대와 1,700여개의 관련 광상에 대한 시대별, 성인별 그리고 각 광종에 대한 분석결과 및 자료를 기초로 1/5,000,000축척으로 작성되었다.
2. 광상성인대는 광물자원평가를 위해 6개의 부분으로 나누어 설명하였는데, 즉 광상성인대 이름(심볼), 광상형태(주요광상), 나라와 지역, 광상대의 성인과 관련 있는 단위 및 구조, 광상성인대의 시대범위, 광상성인대를 형성시킨 구조적인 활동 및 설명 등으로 기술되어 있다.

3. 광상성인대의 정의와 원칙들을 가지고 아직 발견되지 않은 광상들을 예측하는데 활용할 수 있을 것이며, 국토활용계획 및 환경연구 등 국가의 자원정책을 수립하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

9. 참고문헌

- Oblenskiy, A.A., Hwang, D.H., Parfenov, L.M., Kuzmin, M.I., Distanov, E.G., Sotnikov, V.I., Seminskiy, Zh.V., Spiridonov, A.M., Stepanov, V.A., Khanchuk, A.I., Nokleberg, W.J., Tomurtogoo, O., Dejidmaa, G., Hongquan, Y., Fengyue, S., Ogasawara, M., 2001, Metallogenic Belt Map of Northeast Asia. Mineral Deposits at the beginning of the 21st Century, p. 1133-1135. Proceeding of the Joint Sixth Biennial SGA-SEG Meeting/Krakow/Poland/26-29 August 2001.
- Nokleberg, W.J., Bubdtzen, T.K., Brew, D.A. and Plafker, G., 1995., Metallogenesis and tectonics of porphyry Cu and Mo(Au, Ag), and granitoid-hosted Au deposits of Alaska. In Schroete, T., (ed.) *Porphyry deposits of the Northwestern Cordillera of North America*. Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum, Special volume 45: 103.
- Parfenov, L.M., Votluzskih, V.G., Gamyaniin, G.N., 1999, Metallogeny of the territory of the Republic Sakha(Yakutia). *Pacific geology* 18(2): 18.