

북부 아르헨티나 봉산염 광상 조사: 살리나스그란데스 광상을 중심으로

박상준¹ · 이한영^{2,*}

¹한국해양연구원 심해·해저자원연구부, 426-744, 경기도 안산시 상록구 사2동 1270

²한국지질자원연구원 해외광물자원연구부, 305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92

Survey of Borate deposit in Northern Argentina: Salinas Grandes Borate deposit

Sang Joon Pak¹ and Han Yeang Lee^{2,*}

¹Deep-sea and Marine Georesources Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Gyeonggi 426-744, Korea

²Oversea Mineral Resources Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Abstract: The Salinas Grandes borate deposit located in Jujuy state, northern Argentina can be categorized into the playa-type evaporite deposit. Major borate mineral is ulexite ($\text{NaCaB}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$), which boron could be originated from volcanic rocks nearby playa. The eastern part of the Jujuy state in northern Argentina belongs to the Altiplano-Puna platform which shows high altitude and semiarid climate. Lots of Mesozoic and Cenozoic volcanics that are source of boron as well as playas that are the basin for borate precipitation in the area are essential for boron evaporite deposit. Therefore, the extensive explorations for the playa-type evaporite deposit are need.

Keywords: boron, borax, playa, evaporite, Argentina

요약: 북부 아르헨티나 후후이주 동부에 위치하는 살리나스그란데스 봉산염(borate) 광상은 플라야 주변부에 배대되는 플라야(playa)형 증발광상이다. 이 광상에서 산출되는 봉산염광물은 주로 울렉사이트(ulexite, $\text{NaCaB}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$)로 봉소의 주 공급원은 주변 화산암일 것으로 추정된다. 아르헨티나 후후이주 동부는 아건조 기후의 알티플라노-푸나 고평원에 위치한다. 중생대 및 신생대 화산암체는 봉소의 주요 공급원으로 생각되며, 플라야는 이들 봉소가 침전되는 주요 분지 역할을 하여 이 지역은 봉소의 이동과 침전을 위한 좋은 지형적·지구조적 조건을 보인다. 따라서 향후 이 지역의 봉산염 광체에 대한 지속적인 탐사가 필요 할 것으로 생각된다.

주요어: 봉소, 봉산염, 플라야, 증발암, 아르헨티나

서 언

함붕소광물 또는 보레이트(borate)라 불리는 봉산염 광물은 봉산 및 붕소화합물의 원료로 쓰이는 자원 광물이다. 봉산염광물은 주로 유리제품, 안료, 합금, 세라믹, 방염제 등 제조에 필수적으로 사용되고 있으며 전 세계적으로 농업용 비료제조에 널리 사용되고 있다. 함붕소광물은 자연에서 약 200가지 이상의 광

물로 산출되지만 경제적 가치를 가지는 광상의 형태로 개발되고 있는 광물은 커나이트(kernite, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), 틴칼(tincal, borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 콜레마나이트(colemanite, $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 및 울렉사이트(ulexite, $\text{NaCaB}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 등의 4-5종에 불과하다.

붕소는 봉산염광물의 형태로 연간 약 42,000,000톤 정도가 국제적으로 거래되며 터키, 아르헨티나, 칠레, 러시아, 중국 등이 세계적인 주요 공급국이다. 세계적으로 가장 큰 규모의 붕소 생산회사는 터키의 에티 보르사(Eti Bor)와 미국의 유에스보렉스사(US Borax)로서 전 세계 붕소 공급량의 약 80%를 점하고 있다. 채광된 함붕소광물들은 정제공정을 통해 봉산

*Corresponding author: hanlee@kigam.re.kr

Tel: 82-42-868-3103

Fax: 82-31-418-8772

또는 붕소 화합물로 이차 가공되며 이어 다양한 제품에 원료로 사용된다. 대부분의 보론 채광회사들은 자사 소유의 붕소 제품을 생산하고 있어 원료광물 생산에 이은 제품화까지 수직적인 계열화를 이루고 있다.

2007년 붕소 생산국 상위 5개국(터키, 칠레, 아르헨티나, 러시아, 중국)의 붕소생산량은 3,840,000톤이었으나, 2008년 상위 5개국의 생산량은 4,100,000톤으로 전년 대비 약 6.7%의 증가세를 보였다. 이 중 아르헨티나는 2007년 550,000톤의 붕소를 생산했으며 2008년 670,000톤의 붕소를 생산하여 전년 대비 21.8%의 높은 생산 증가율을 보였으며, 생산량으로 보면 터키(2,250,000톤)에 이은 세계 제2위의 붕소 생산국이다(USGS, 2009). 아르헨티나산 붕소 대부분은 아르헨티나 북서부 후후이주 및 살타에서 집중 채광되고 있으며, 이 지역 중 특히 틴칼라유(Tincalayu)같은 광산은 세계 3대 붕산염 광산 중 하나 일 만큼 함붕소광물의 자원 잠재력이 높은 지역이다. 우리나라는 현재 붕소를 전량 수입에 의존하고 있으며, 2003년 수입금액이 4,285천불, 2008년 수입금액은 6,639천불로 수입금액 기준 약 35% 증가하였다(2008년도 광산물 수급현황, 2009). 이는 건설자재, 화학 및 섬유 산업의 확대에 따라 붕소의 수요가 지속적으로 증가하고 있음을 시사한다.

국내 붕소 시장의 지속적인 확대에도 불구하고 국내에서 가행되는 붕산염광상은 없으며, 국외 붕산염광상 및 함붕소광물에 대한 현지 조사 보고도 미미한 상태이다. 채광의 대상이 되는 붕산염광물들은, 일부 스카른 광상의 석회암내 또는 화산 폭발 부산물에 농집되어 있어 채광의 대상이 되기도 하지만, 세계적인 광상의 대부분은 함붕소 열수 또는 함붕소 지하·지표수의 증발에 기인한 증발광상(evaporite deposit)이 주종을 이룬다. 본 논문은 아르헨티나 북서부에 분포하는 붕산염광상에 대한 성인별 특성을 살펴보고, 후후이(Jujuy)주에 위치하는 살리나스그란데(Salinas grande)지역의 붕산염광상에 대한 현지 조사를 통해 함붕소광물의 산상 및 조석을 관찰하고 지질·광상학적 의미를 고찰하고자 한다.

북부 아르헨티나 붕산염광상

남미 중부의 중부 안데스 산맥을 기준으로 서측으로부터 칠레의 중앙 팜파 델 타마루갈-데프레손(Pampa

del Tamarugal-Depression Central)지역, 페루-볼리비아-칠레-아르헨티나에 걸쳐 분포하는 주 화산암산맥(main volcanic range)지역, 북서부아르헨티나와 볼리비아에 걸쳐 있는 알티플라노-푸나(Altiplano-Puna)평원이 주요 붕산염광화대를 형성하고 있다. 이 지역의 붕산염광상은 주로 신생대 마이오세신에서 제4기 후기까지의 생성시기를 보인다. 현재 남미 중부에서 가장 고기 형성된 붕산염광상은 6 Ma의 생성시기를 보이며 대부분의 광상은 150만년 전에 집중적으로 생성되었다(Barker and Lefond, 1985).

아르헨티나 북서부에 분포하는 붕산염광상산 주요 함붕소광물은 울렉사이트, 보릭스, 하이드로보라사이트, 콜레마나이트 등이 있다. 아르헨티나의 대표적인 붕산염광산인 틴칼라유 광산에서 생산되는 하이드로보라사이트는 세계에서 가장 큰 매장량을 보이나 다른 함붕소광물들이 산출되는 광상들은 터키와 미국에서 발견된 광상보다는 작은 규모를 보인다(Kistler and Smith, 1983).

중부 안데스 지역에 분포하는 광상은 신생대 나즈카(Nazca)해양지판의 섭입과 관련된 화산호(volcanic arc)의 발달과 밀접하게 관련되어 있으며 붕산염광물이 침전·퇴적 되어 있는 양상에 따라 1) 제 3기의 퇴적물에 협재되어 있는 붕산염광상, 2) 온천 또는 간헐천에 침전·퇴적되어 있는 붕산염광상, 3) 제4기 플라이아 내의 증발암관 관련되어 배태되는 붕산염광상으로 구분될 수 있다(Fig. 1).

제3기 층에 협재되는 광상과 온천 및 간헐천과 관련되어 배태되는 광상의 경우 대체로 알티플라노-푸나 고평원에 한정되어 분포하는 경향을 보이지만, 플리아에 발달하는 증발형 붕산염광상의 경우에는 중앙 안데스 지역에 널리 분포하는 경향을 보인다(Fig. 1).

이중 아르헨티나 북서부지역에서 후기 마이오신 퇴적층내에 협재되면서 경계성을 보이는 붕산염광상은 주로 알티플라노-푸나 고원 동쪽 경계부에 분포하는 특징을 보인다. 이들 광상은 남쪽에서부터 틴칼라유(Tincalayu), 시에즈(Sijes), 로마블랑카(Loma Blanca) 지역 순으로 분포한다. 이들은 모두 신생대 중기에서 현세까지 형성되었으며 광체가 분포하는 층들은 가장 북쪽에 위치하는 로마블랑카 지역의 층서가 가장 하부층에 해당하며 시에즈 지역의 층서는 그 상부에 해당한다. 최상부 층에는 틴칼라유 지역의 층서가 이에 해당한다.

해발 4100 m 고도에 위치하는 틴칼라유 광체는 하

부의 암염층과 정합적으로 분포하며 이 암염층은 다시 시에즈 지역의 최상부의 화산쇄설성 및 쇄설성 퇴적암 층과 부정합으로 접한다. 암염층의 층후는 시추를 통해 145 m 이상 되는 것으로 확인 봉산염 광체는 약 30 m의 괴상 층후를 보인다. 이 괴상 봉산염 광체는 순수 봉산염층을 형성하기도 하나, 대부분 박층의 이질암, 실트암, 사암, 응회암, 응회암류 층과 교호하며 산출되어, 광체가 다양한 봉산염 함량을 보이는 원인이 된다. 봉산염층 상부에는 실트암, 이질암을 함유하는 25 m 층후의 적색 사암이 분포한다. 광체 직하부에 협재하는 응회암은 5.9 Ma K-Ar 생성 연대를 보여 틴칼라유 광체는 6 Ma 보다 젊을 것으로 판단된다(Alonso et al., 1988). 봉산염광체는 주로 붕사(borax)와 소량의 합나트륨붕소 광물인 커나이트로 구성된다. 일부 플라야에서 발견되는 봉산염광물들은 수 km 떨어진 라토네스(Ratones)화산의 활동시 공급된 함붕소 열수에 의해 형성되었다. 이후 건조기 후로 인한 증발이 가속화되며 수용액 속의 붕소가 과포화상태가 되어 침전되는 양상을 보인다(Alonso et al., 1988). 유입된 열수에 의해 침전되는 봉산염 결정은 플라야 기저부의 이질층 및 호수면 기저부 모두에서 침전된다.

시에즈 봉산염광체(해발 약 4000 m)는 하부의 암염층과 정합적 관계를 보이며 상부 역암층과는 부정합 관계를 보인다(Alonso and Viramonte, 1990). 광체는 쇄설성 퇴적암 및 화산성 쇄설암, 증발암 사이에 규칙적으로 협재되는 특징을 보이며 광체의 층후는 0.5-1 m를 보인다. 시에즈층군에는 2-3개의 광체 층이 협재하며 총 두께는 약 700 m에 이른다. 광체는 주로 콜레마나이트 및 소량의 하이드로보라이트로 구성된다. 단일 광체 층에서는 다량의 봉산염 박층이 확인되며 봉산염 박층리와 함께 관찰되는 건열, 빗방울 자국, 새발자국 등의 퇴적암 구조들은 이 지역이 단기간에 반복적인 수량의 증감이 용이하였던 환경, 즉 얕은 호수 환경이었음을 시사한다. 호수는 고농도의 붕소를 열수 또는 온천수로부터 공급받았을 것으로 판단되며 광체 북쪽의 퀴에바 화산성 복합암체의 화산활동과 관련이 있는 것으로 해석된다(Helvaci and Alonso, 1994).

해발 고도 약 4150 m에 위치하는 로마블랑카 지역은 아르헨티나, 볼리비아, 칠레의 국경에서 남동쪽으로 70 km 떨어진 곳에 위치한다. 봉산염광체층은 응회암류, 응회암 및 쇄설암으로 구성되는 시에즈 퇴적

층군에 협재되어 있다. 봉산염 광체는 대체로 1-3 m 두께를 보이며 연장 약 2 km의 광체층들이 약 10개 분포한다. 이들 광체에서는 주로 울렉사이트, 붕사, 인요아이트(inoite) 등이 산출된다. 단일광체층 하부에서는 Ca이 풍부한 봉산염광물이 산출되고 상부로 갈수록 Na이 풍부한 봉산염광물이 우세하게 정출하여 특징으로 화학적 대상구조를 보여준다(Helvaci and Alonso, 1994). 이는 증발암 형성시 각 용질의 용해도를 반영한 봉산염광물의 선택적 침전의 결과로 생각된다(Alonso and Viramonte, 1990).

봉산염광물은 온천수의 분출공 주변에서 온천수 침전물(travertine)과 함께 직접적으로 침전되기도 한다. 이러한 유형의 봉산염광체는 주로 푸나지역에만 국한되어 분포하는 경향을 보인다(Fig. 1). 간헐천에 의해 형성된 광체는 대체로 원뿔형 광체 구조를 보이는 반면, 온천 분출공 주변에서 침전물과 함께 공침하는 봉산염광체는 대체로 평판구조를 보인다. 또한 이들 유형의 광상들은 대체로 주위 화산으로부터 함붕소 열수를 쉽게 공급받을 수 있는 단층대 또는 제3기 암석들의 부정합면을 따라 발달하는 경향을 보인다(Alonso and Viramonte, 1990). 이 유형의 광체는 봉산염 광물로 울렉사이트 및 미량의 붕사를 수반하며 석회질 온천침전물과 소량의 철-망간 표층에 협재되는 특징을 보인다.

살리나스그란데스 봉산염광상

중부 안데스의 봉산염광상들 중 수적으로 우세하게 분포하는 광상은 일반적으로 플라야 유형에 속하는 광상들이다. 플라야는 일반적으로 아건조 지역에 위치하는 바닥이 평탄한 함몰지형을 말하며, 소량의 주기적인 강우와 증발로 인해 암염, 사암, 이암 등이 함몰지형 외각부에서 퇴적되는 특징을 보인다. 아르헨티나 후후이주의 동부 대부분을 점하는 알티플라노-푸나 고평원은 강수량이 200-300 mm/year 정도 밖에 되지 않는 건조한 기후와 고원지대에 평탄한 함몰지가 많아 아르헨티나, 칠레, 볼리비아, 페루에 접경지역에 걸쳐 100여개가 넘는 플라야가 분포한다. 이 중 봉산염광물이 배태되는 플라야 유형의 봉산염광상은 약 40개 정도가 된다(Fig. 1).

조사 지역 살리나스 그란데스(Salinas grandes)는 중앙 안데스 지역에 분포하는 플라야 중 하나로, 알티플라노-푸나 고평원지역 최동측부에 위치하며 지리

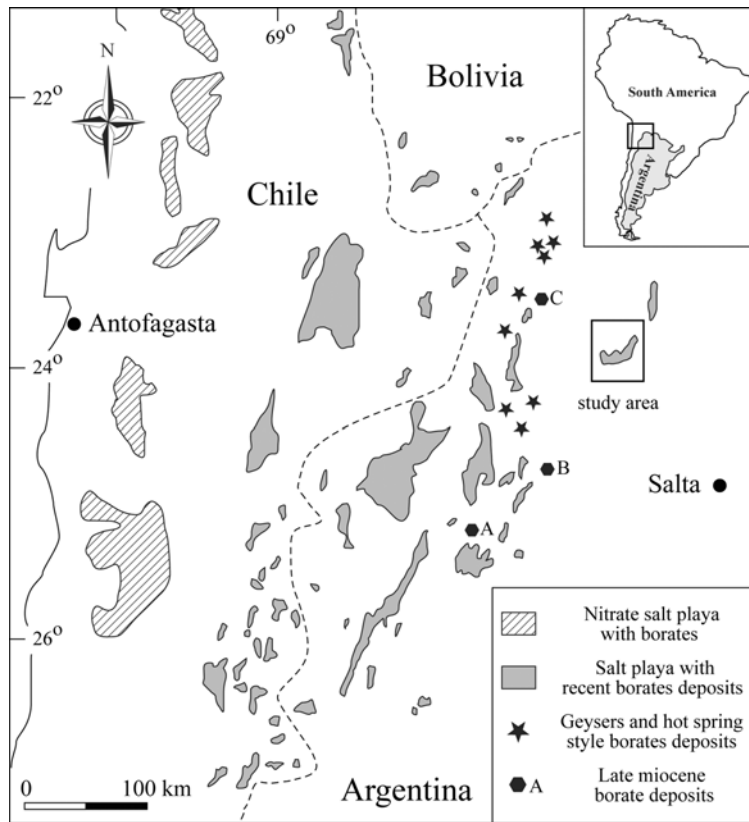


Fig. 1. Distribution of principal borate localities in northern Argentina and eastern Chile. A: Tincalayu, B; Sijes, C; Loma Blanca (modified from Alonso and Viramonte, 1990).

적으로 아르헨티나 북부 후후이주의 주도인 후후이 (San Salvador de Jujuy)시에서 북서쪽으로 약 150 km 떨어진 곳에 위치한다(Fig. 1). 살리나스 그란데스 플라야는 가로 약 40 km 세로 약 30 km의 호(arc) 모양을 보이며, 우기에만 유량이 있는 건천이 모두 플라야와 연결되고 있다(Fig. 2).

플라야 주변 지질은 선캠브리아기의 변성퇴적암류를 기반암으로 하여 고생대 퇴적암류 및 관입암류 그리고 신생대 쇄설성 퇴적암류 및 화산암류로 구성된다. 제4기 이후 형성된 봉산염광상은 플라야 북동측 주변부를 따라 분포하고 있다(Fig. 2). 살리나스 그란데스 지역은 남북방향의 안데스 산맥과 북북서-남남동 방향의 화산 연속체(volcanic chain)사이의 상대적인 저지대가 형성되며 만들어진 분지이다. 우기 시 소규모 하천들은 대체로 주변 고지대로부터 유출되어 플라야로 집중되며 이후 건기에는 플라야의 물이 증발하면서 증발광물들이 퇴적된다. 연구지역 플라야의 2/3는 암염으로 구성되며 유입 수량이 증가하

면 남동쪽 플라야는 호수로 남아있어 그 형태가 달라진다. 일반적으로 플라야에 피복되어 있는 암염의 두께는 30-40 cm를 보이며 건일이 관찰된다(Figs. 3A and 3B).

봉산염광체는 플라야 북동측 연변부를 따라 플라야 경계를 따라 최고 4 km 정도까지 연장되어 분포하며 광체 표층에는 쇄설성 퇴적물이 박층을 이루며 분포한다. 현장에서 관찰되는 봉산염광체의 두께는 평균 40 cm를 보이며 최대 1.5 m 정도를 보이기도 한다. 봉산염광체 하부층에서는 쇄설성 퇴적암, 암염층 등이 분포하며 일부에서는 유기물질을 함유하는 흑색셰일이 분포하기도 한다(Fig. 2).

살리나스 그란데스 플라야에서 산출되는 봉산염광석에 대한 X선 회절 분석결과 이 지역에서 우세하게 산출되는 광물은 울렉사이트($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$)로 확인된다(Fig. 4). 연구지역에서 산출되는 울렉사이트는 백색의 섬유상 지형결정으로 진주빛 광택을 띤다. 울렉사이트로 구성되는 광석은 소위 “코튼 볼(cotton

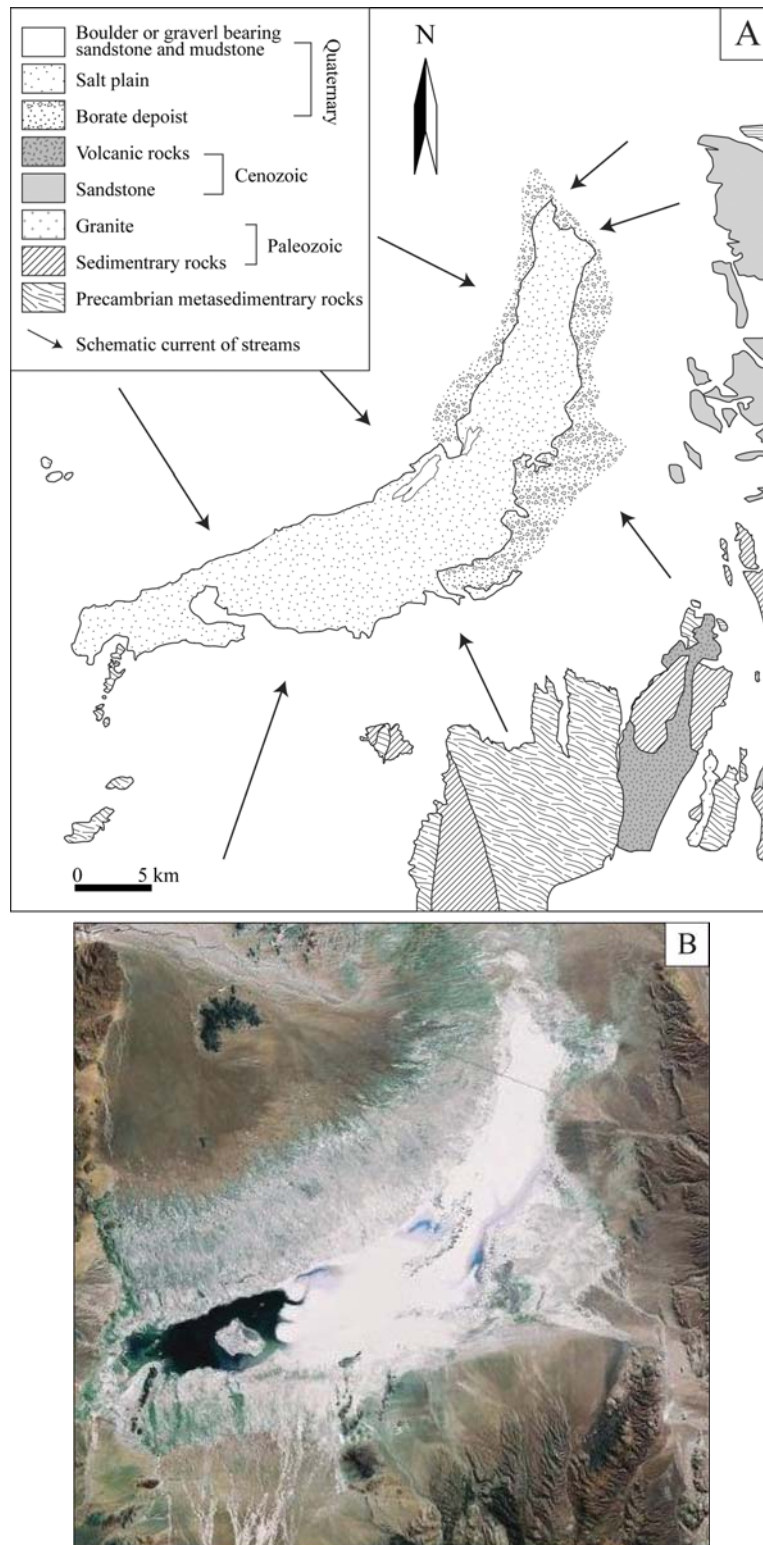


Fig. 2. Detailed geological map (modified by Alonso and Gonzalez Barry, 2008) (A) and satellite image (B) of Salinas Grandes playa in Jujuy state. Satellite image modified from “google maps”.

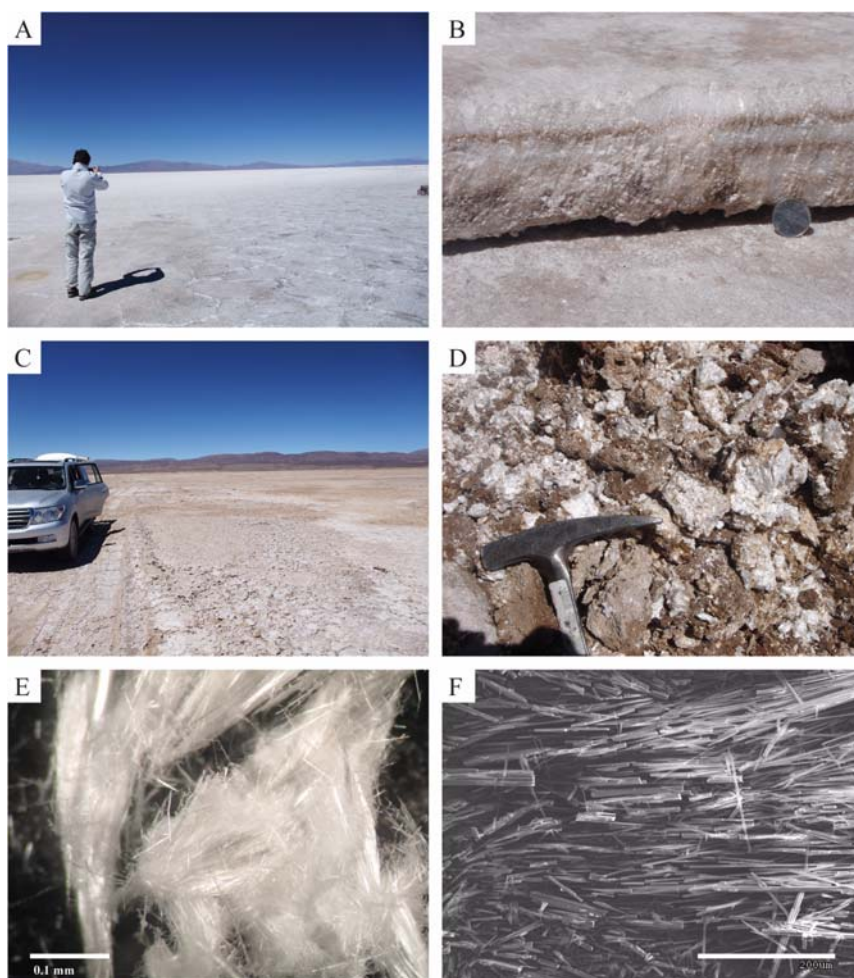


Fig. 3. Photographs and microphotographs from Salinas Grandes borax deposits. Salinas Grandes playa covered with salts (A), halite from the playa (B), borate deposit in the playa (C), ulexite ore body showing “cotton ball” shape (D), stereoscopic microphoto of ulexite aggregation (E), SEM image of ulexite, note the fibrous textures of ulexite (F).

ball)”이라 불리는 단괴형태로 산출되는 특징을 보인다. 단괴상 광석의 직경은 1-2 cm 정도에서부터 30 cm까지의 범위를 보이나 평균적으로 5-10 cm 내외의 직경을 보인다(Figs. 3C and 3D). 울렉사이트는 섬유상 자형 결정들이 집합적으로 산출되는 특징을 보이는데, 이차전자현미경으로 관찰된 울렉사이트는 주상 자형결정체의 집속체로 결정체의 길이가 수 mm 이상 이어지기도 한다(Figs. 3E and 3F). 이러한 울렉사이트는 광학적으로 빛을 내부반사하여 섬유상 결정의 길이방향으로 전반사시켜 투과시키는 일종의 광섬유의 특성을 보인다. 반면 중앙 안데스 지역 일부 플라야에서 산출되는 봉산염광체에서는 봉사(borax)가 자형 결정으로 산출되기도 하며 울렉사이트 중

일부는 살리나스 그란데스 플라야 광체와는 다르게 괴상층상으로 분포하기도 한다.

토의 및 결론

경제성 있는 유용광물의 집합체 즉 광상 형성에 영향을 주는 요인은 크게 유용성분이 공급되는 근원(source) 및 이들의 이동 및 침전에 있다. 봉소(B)는 지하내에 0.001 wt.% 정도를 차지하는 미량원소로 광상을 형성하기 위해 공급되는 근원물질이 흔하게 존재하지 않은 원소이다(Ryan et al., 1996). 봉소는 휘발성 원소로 마그마 진화 과정에 있어 기성단계까지 계속 결정화되지 않기 때문에 봉산염광상을 형성하는

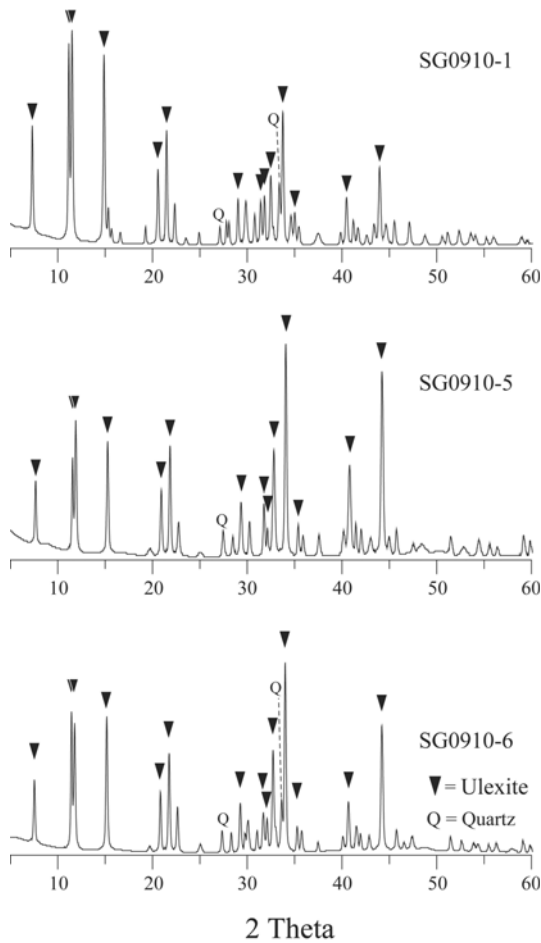


Fig. 4. XRD patterns of borate ore from Salinas Grandes.

붕소의 유력한 공급원은 주로 화산 활동과 관련된 열수에서 공급되기가 용이하다(Garret, 1998; Helvacı et al., 1993; Jensen and Bateman, 1981). 자연계에서 일반적으로 borate 광물은 온천 침출물(travertine)과 함께 분출 주변부에 발달하는 경우가 많으나, 화산체에 흡착된 붕소 또는 화산암내의 붕소가 풍화되어 침출되는 경우도 있다(Alonso and Viramonte, 1990). 이렇게 주변 화산암류를 붕소의 공급원으로 하여 생성되는 지하수 및 지표수는 플라야로 이동하여 지속적으로 증발하면서 수용액내 붕소의 과포화를 일으켜 borate 광물을 침전시킨다(Alonso and Viramonte, 1990). 살리나스 그란데 플라야 남동쪽에는 신생대 화산암체가 분포하고 있으며 플라야로 유입되는 건천은 모두 주변의 화산암체를 포함한 연구 지역 전체에 퇴적되어 있는 화산성 쇄설물을 통과하며 침출되는 물에 의해 형성된다(Fig. 2).

중앙 안데스 지역은 붕소의 주 공급원인 화산, 붕소가 이동·침전하기 위한 짧은 거리의 건천 및 넓고 평탄한 플라야, 증발이 용이한 건조기후 등의 요인이 두루 갖추어져 있다. Alonso and Viramonte(1990)는 중앙 안데스 지역에 분포하는 borate 광화대를 크게 팜파델 타마루갈(Pampa del Tamarugal), 안데스 고원(High Andean) 동부 푸나(Eastern Puna) 세 지역으로 나누어 제시한 바 있다(Fig. 5). 팜파델 타마루갈 중앙 안데스 서쪽의 해안지대 안데스 산맥 동측사면 사이에 해당하는 지역으로 칠레에 해당한다. 이 광화대는 그림에서 보는 바와 같이 borate 광물을 함유하는 borate 광상이 집중 분포하는 지역이다. 주요 borate 광물은 울렉사이트로 렌즈상 또는 직경 -2 cm의 단괴의 형태 산출되는 특징을 보인다. 울렉사이트는 주로 borate 광물 상부에 배태된다.

안데스 고원 지역은 알티플라노-푸나 평원이 포함되는 중앙 안데스 산맥에서 가장 광대한 지역으로 간헐천과 온천 및 대부분의 플라야 유형의 borate 광상이 분포하는 지역이다(Fig. 5). 시기적으로 현재에 생성된 광상들이 대부분이며 광상에서 산출되는 주요 borate 광물은 울렉사이트로 주로 분지를 충전하며 표층에서 발달한다. 광석은 단괴상, 렌즈상, 괴상 층의 형태로 나타나며 대체적인 광체의 층후는 1.5 m를 보인다. 이들은 상기한 바와 같이 화산활동과 밀접한 관련성을 보인다.

동부 푸나 지역은 아르헨티나 북부에 해당하며 제3기 borate 광상으로 간헐천 및 온천과 관련된 유형 및 플라야 유형의 광상들이 포함된다(Fig. 5). 상기한 두 지역에 비해 규모면에서는 가장 작지만 경제적인 관점에서 보면 고농도의 붕소 함량으로 인해 가장 잠재성 있는 지역이다. 이 광상들은 제3기에 형성되어 이들 층에 의해 층준규제를 받는 특징을 보인다. 이 지역내의 주요 borate 광상은 상기한 틸칼라유, 시에즈, 로마블랑카 지역으로 전체 광화대의 길이는 300 km에 이르지만 borate 광체가 주로 제3기 지층에 매장되어 있어 향후 탐사에 의해 광체 매장 범위가 더욱 확장될 수 있을 것으로 판단된다.

아르헨티나 북부 후후이주 및 살타주 동부는 티벳 고원에 이은 세계 두 번째 규모를 보이는 알티플라노-푸나 고평원에 위치한다. 이 고평원은 해발 4000 m 이상의 고도의 아건조기후를 보이며, 중생대 이후 진행된 화산활동에 기인한 풍부한 붕소 공급원이 존재하고 플라야가 대량 분포하고 있다. 따라서 붕소의

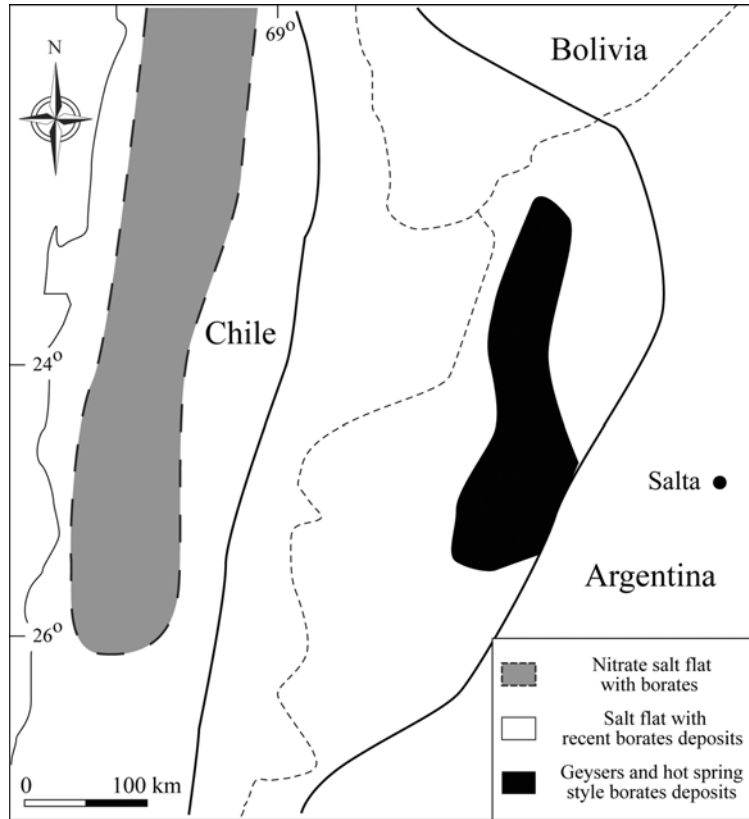


Fig. 5. Map showing the shape and size of the borate-bearing subprovinces in northern Argentina. See text for details (modified from Alonso and Viramonte, 1990).

이동과 집적을 위한 좋은 지형적·지구조적 조건을 가지고 있어, 향후 지속적인 탐사가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 지식경제부 출연사업인 “해외광물자원 협력 및 기술정보 구축” 사업 및 한국해양연구원 “신진연구자 지원사업”의 지원으로 수행되었습니다. 세밀한 심사와 상세한 조연을 해주신 익명의 심사위원님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

지식경제부 · 한국지질자원연구원, 2009, 2008년도 광산물 수급현황. 315 p.
 Alonso, R.N. and Gonzalez Barry, C.E., 2008, Excursion an un clasico ambiente enaporitico puneno Salinas Grandes. 2008 XVII Congreso Geologico Argentino,

25 p.
 Alonso, R.N., Helvacı, C., Sureda, R.J., and Viramonte, J.G., 1988, An new Teriary borax deposit in the Andes. *Mineralium deposita*, 23, 299-305.
 Alonso, R.N. and Viramonte, J.G., 1990, Borate deposits in the Andes. In Fontbote, L., Amstutz, C.G., Cardozo, M., Cedillo E., and Frutos, J. (eds), *Stratabound ore deposits in the Andes*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 721-732.
 Barker, J.M. and Lefond, S.J., 1985, *Borates: Economic geology and production*. Society of Mining Engineering. AIME, Colorado, 274 p.
 Garrett, D.E., 1998, *Handbook of borates*. Academic Press, UK, 469 p.
 Helvacı, C. and Alonso, R.N., 1994, An occurrence of primary inyoite at Lagunita Playa, northern Argentina. *International Geological Congress, 29th, Kyoto, Japan, Proceedings, Part A*, 299-308.
 Helvacı, C., Stamatakis, M.G., Zagourolou, C., and Kanaris, J., 1993, Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean late Miocene continental basins. *Exploration and Mining*

- Geology, 2, 171-178.
- Jensen, M.L. and Bateman, A.M., 1981, Economic Mineral Deposits, Wiley, NY, USA, 593 p.
- Kistler, P.B. and Smith, W.C., 1983, Boron and Borates. In Lefond, S.J. (ed.), Industrial minerals and rocks. 4th ed, Society of Mining Engineering. AIME, NY, USA, 473-496.
- Ryan, J.G., Leeman, W.P., Morris, J.D., and Langmuir, C.H., 1996, The boron systematics of intraplate lavas: Implications for crust and mantle evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 415-422.
- USGS, 2009, Boron statistics and information; Mineral commodity summaries. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron/mcs-2009-boron.pdf> (검색일: 2009. 9. 1)

2009년 9월 23일 접수
2009년 12월 2일 수정원고 접수
2009년 12월 14일 채택