

브라질의 지질 및 광상구 정보 소개

김인준 · 이재호*

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

Introduce to Information on the Geology and Mineral Provinces of Brazil

In-Joon Kim and Jae-Ho Lee*

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

1. 서 언

브라질의 광물산업의 잠재력은 지질 및 광상의 규모에서 현재까지도 완전히 알려지지 않고 있다. 특히 브라질 지층의 대부분은 라테라이트 토양에 의해 피복되어 대부분의 중요한 광상들은 풍화에 의해 좌우되거나 때로는 풍화에 의해 농축된다. 따라서 라테라이트 피복은 지질도 작성과 광상탐사를 어렵게 한다. 브라질의 지질은 선캄브리아기가 넓게 분포하기 때문에 브라질의 광물자원은 생성시대 규제를 받아 여러 종류의 광상 형으로 산출된다. 예를 들면 녹색암대의 금광상, 괴상 황화물 광상, 대지의 산화철동금광상, 호상 철광상, 안정 지괴의 층상분화암체 및 현생대의 대륙 분열에 관련된 현무암에 수반되는 정 마그마성 동·니켈·백금 광상 및 중생대에 형성된 카보나타이트 광상이 있다. 그러므로 브라질에서 생산되는 주요한 광물종으로는 철, 금, 아연, 동, 니켈, 백금족 광물 및 니오브·탄탈 등이 있다.

특히, 브라질의 철광석 매장량은 전세계 매장량의 1/3, 보크사이트는 중남미 국가 중 최고의 매장량인 것으로 알려져 있으며, 2003년 동에 대해서는 274천t, 아연에 대해서는 68천t의 공급이 부족(국내 광산 생산량-국내소비량)되었으며(Table 1과 Table 2), 2004년 1월에서 7월중 대브라질 수입은 원자재 파동에 따라 철광 등 원자재 수입의 증가로 약 30% 증가한 11억4백만 달러를 기록하고 있다.

또한, 브라질의 광물자원은 아직까지도 완전한 탐사가 이뤄지지 않았으나 막대한 매장량을 가진 것으로

알려져 있으며, 특히 금, 주석 및 다이아몬드 등과 같은 광물생산량은 상당부분 가림포(Garimpeiros)라는 영세 비공식 광산업자에 의해 생산되고 있는 실정이다.

현재 브라질의 지질학적 자원과 국가 전체 생산을 고려하면 브라질의 광물산업 규모는 비교적 작다고 할

Table 1. Quantity of production ore minerals (unit: t; DNPM, 2003)

Ore minerals	2003	2002	2003/2002
Aluminium	17,000,000	13,189,000	1.29
Sand(10 ³ t)	192,000	217,200	0.88
Barium(10 ³ t)	142,000	160,000	0.89
Coal	4,800,000	5,554,089	0.86
Limestone	2,160,000	1,757,488	1.23
Lead	10,650	9,253	1.15
Copper	27,269	32,711	0.83
Tantalum	231,116	194,732	1.19
Chrom(Cr ₂ O ₃)	382,693	279,012	1.37
Tin	12,217	12,023	1.02
Copper(10 ³ t)	240,000	218,022	1.10
Fluorite	52,020	47,899	1.09
Natural Gas(em m ³)	15,792,030	15,568,310	1.01
Graphite	66,000	60,922	1.08
Magnesite	275,000	276,391	0.99
Manganese	2,400,000	2,529,457	0.95
Niobium	64,579	70,098	0.92
Nickel	30,776	30,400	1.01
Gold(kg)	38,400	44,443	0.86
Oil(em m ³)	86,827,708	84,440,607	1.03
Potassium(K ₂ O)	388,723	337,266	1.15
Apatite	5,521,893	5,075,411	1.09
Vermiculite	24,916	22,577	1.10
Zinc	145,396	136,339	1.07

*Corresponding author: jhlee@kigam.re.kr

Table 2. Quantity of production and company(unit: t; MME, 2005)

	2004	2003	2004/2003
1. Aluminium	1,457,400	1,380,600	1.06
ALBRAS - PA	440,500	435,900	1.01
ALCAN	108,800	106,500	1.02
Ouro Preto - MG	51,000	50,200	1.02
Aratu - BA	57,800	56,300	1.03
ALCOA	292,700	275,500	1.06
Pocos de Caldas - MG	90,300	94,900	0.95
Sao Luis - MA	202,400	180,600	1.12
BHP BILLTON - MA	174,800	154,300	1.13
CBA - SP	345,300	313,800	1.10
VALESUL - RJ	95,300	94,600	1.01
2. Lead	n.d.	n.d.	
3. Copper	208,019	173,378	1.20
Caraiba	208,019	173,378	1.20
4. Tin	11,512	10,761	1.07
Paranapanema	7,393	7,654	0.97
Cesbra	796	1,012	0.79
Best	324	270	1.20
Coopersanta	283	178	1.59
Outros	2,716	1,647	1.65
5. Magnesium	n.d.	n.d.	
Rima	n.d.	n.d.	
6. Nickel	31,998	30,513	1.05
Codemim	6,492	6,408	1.01
Niquel Tocantins	19,741	18,155	1.09
Serra da Fortaleza	5,765	5,950	0.97
7. Metal Silicone	113,607	99,200	1.15
Camargo Correa	38,077	31,507	1.21
CBCC	56,929	50,128	1.14
LIASA	n.d.	n.d.	
MINASLIGAS	18,601	17,565	1.06
Rima	n.d.	n.d.	
Sibra	n.d.	n.d.	
8. Zinc	265,987	257,530	1.03
Cia. Mineira de Metais	175,407	167,735	1.05
Paraibuna	90,580	89,795	1.01

수 있으나 브라질의 광산에 대한 낮은 수요 및 높은 운반비용으로 개발이 미진한 상태이므로 앞으로 발전할 여지가 많은 나라라고 생각된다. 따라서 브라질의 지질 및 광상구에 대해 소개하고자 한다.

2. 지 질

브라질의 선캄브리아기(Precambrian)는 시생대(Archean)에서 상부 원생대(Proterozoic)까지 오랜 구조 활동에 의해 특징 지워진다. 상부원생대는 구조유회가 고생대(Paleozoic)인 800-550 Ma까지 계속되는 반면에

현생대(Phanerozoic)는 구조적인 면에서 상대적으로 안정한 시기를 보인다. 선캄브리아기의 암군은 강괴(시생대와 상부 원생대)와 젊은 변동대(원생대) 지역으로 나누어진다. 강괴 지역은 고변성 편마화강암층, 화산성 퇴적암층으로 구성되는 시생대의 녹색암대, 시생대와 하부 원생대의 열곡분지, 중부 원생대의 비조산대(anorogenic) 화강암에 관련된 육성 산성화산암류와 중부 및 하부 원생대의 대지 퇴적암이 덮고 있는 지역으로 구성된다(Fig. 1). 젊은 변동대는 방사성연대가 550-1.3 Ma를 갖으나 변동대의 다상 변형은 이들 복합체 역상에 있어 복구되어진 오래된 층의 암석으로부터 중부 및 상부 원생대에 퇴적된 선지각(supracrustal)의 암석과 구별하는 논쟁을 불러일으키고 있다. 원생대 퇴적암은 변형이 안 된 고생대와 중생대 분지를 덮고 있다.

3. 광업 정책

브라질 경제는 80년대 대외채무 위기와 극도의 인플레이에 의해 혼란했지만, 90년대에 들어 신경제 자유주의의 아래, 정부 주도의 개발정책에서 시장 메카니즘에 입각한 정책 운영으로 전환 했다. 이 때문에 국내 보호정책에서 시장개방정책으로 변화해, 무역 자유화, 민영화, 지역경제통합 및 규제완화에 의해 새로운 다이너미즘을 형성하고 있다. 1990년대의 자유화의 흐름 안에서, 1995년에 실시된 헌법정정에 의해 외자에 대한 규제가 철폐되었다. 이 중에서 조세상 혹은 행정상의 대우에 대해 브라질기업의 정의를 “민족자본”에서 “브라질에서 영업하고 있는 기업”으로 했다.

브라질의 인플레이는 1994년의 “레알계획”에 의해 진정되었다. 급격한 개혁을 위해, 1998년의 아시아 통화 위기에 연동해 1999년 1월에는 통화 위기도 경험했지만, 2004년의 경제성장률은 5%가 되고, 그 해의 무역수지는 대폭적인 수출액 증가에 의해 33,693백만달러(US)로 과거 최고의 흑자를 기록해 많은 불안정 요인을 떠안으면서도 경제는 순조롭다고 말할 수 있다.

광업 분야에서 똑같이 외자 규제(종래는 외자 49%까지는 철폐되었지만, 제도면의 불충분함 때문에 탐광 개발 투자가 진전하지 못했다. 이 때문에 정부는 2001년에 투기 목적의 광구소유를 방지하기 위해 광구 관리의 근대화, 광산보안·광산 폐산 규칙의 확립, 정부 조직 개혁을 포함한 “브라질 광업 섹터의 개혁”을 제정했다. 2004년에는 27.5백만달러(US)를 투자해 광구 관리시스템의 근대화를 실시했다. 또 광산 개발의 장애가 되고 있는 환경 규제의 재검토를 시작했다. 국경에

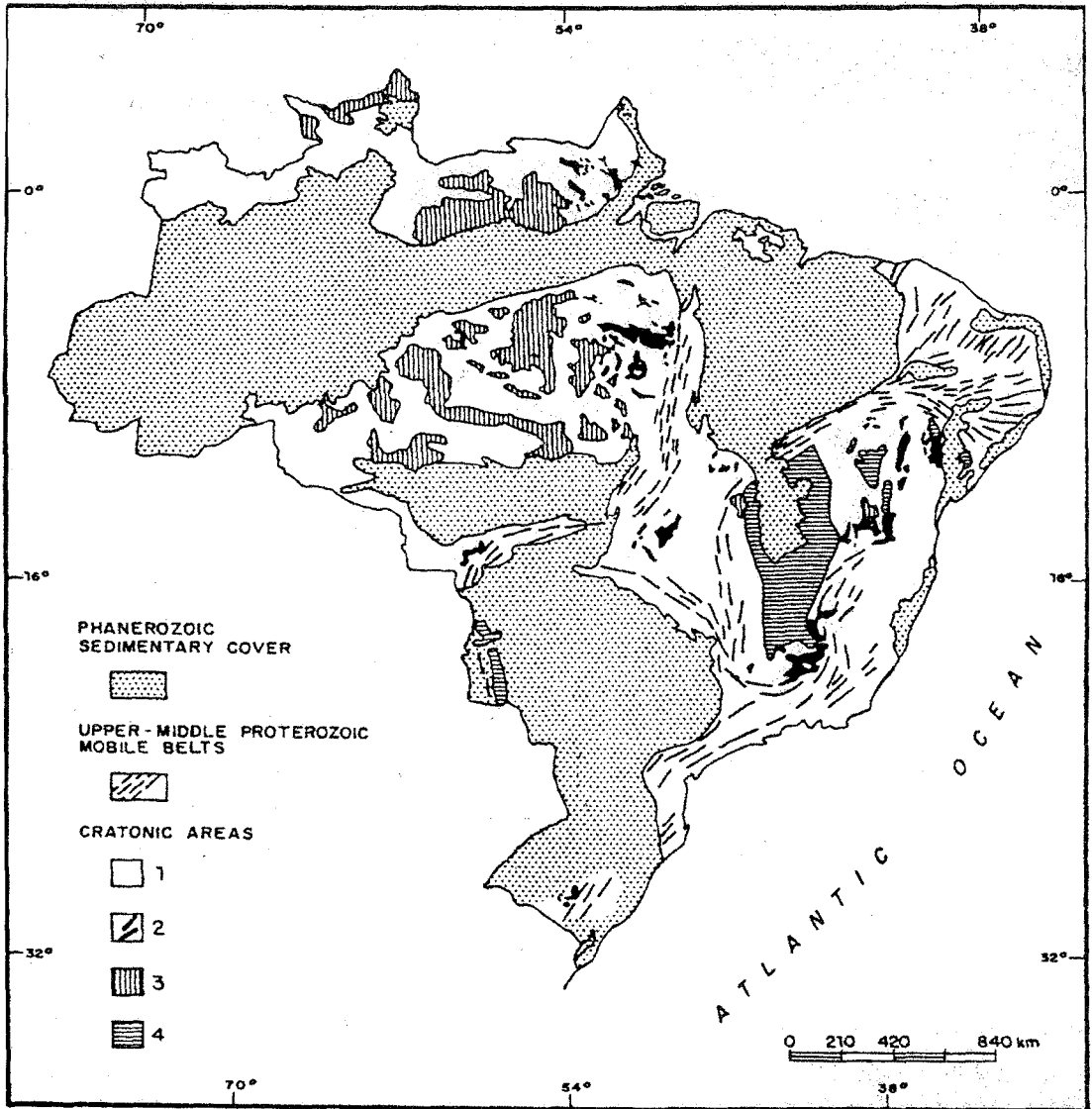


Fig. 1. Outline the tectonic provinces of Brazil (Kashida *et al.*, 1990). 1, Granite-gneiss basement; 2, Archean and/or lower Proterozoic supracrustal sequences; 3, Continental acid volcanics and associated granites of middle Proterozoic age; 4, Middle and upper Proterozoic platform sedimentary sequences.

서 150 km 이내는 안전 보장의 관점에서 법률 6634/79에 의해 외국 자본의 활동이 제한(권익 50% 미만) 되어 자원 개발의 지연을 초래하고 있고 요인으로도 되어 있어 법률 개정이 검토되고 있다.

북동부 및 아마존 사업 촉진에 대해 살펴보면, 북동부는 북동부 개발 감독청(SUDENE)이, 아마존 지역은 아마존 지역개발 감독청(SUDAM)이 관할해, 소득세 50%의 감면(단 배당금으로의 전환은 인정하지 않고 재투자를 위한 자본으로의 편입조건), 수출에 대한 물품

세(ICMS)의 면세조치가 취해지고 있다. 2004년에는 사회자본정비에 민간자본을 활용하기 위한 국민 공동 사업 법안(PPP)이 설립했다.

4. 광상구

브라질의 광상구는 크게 꾸아드리라테로 페리페로-에스피나초(Quadrilatero Ferrifero- Espinhaco) 남부 광상구, 세리나(Serrinha), 크리사스(Crixas) 및 리오

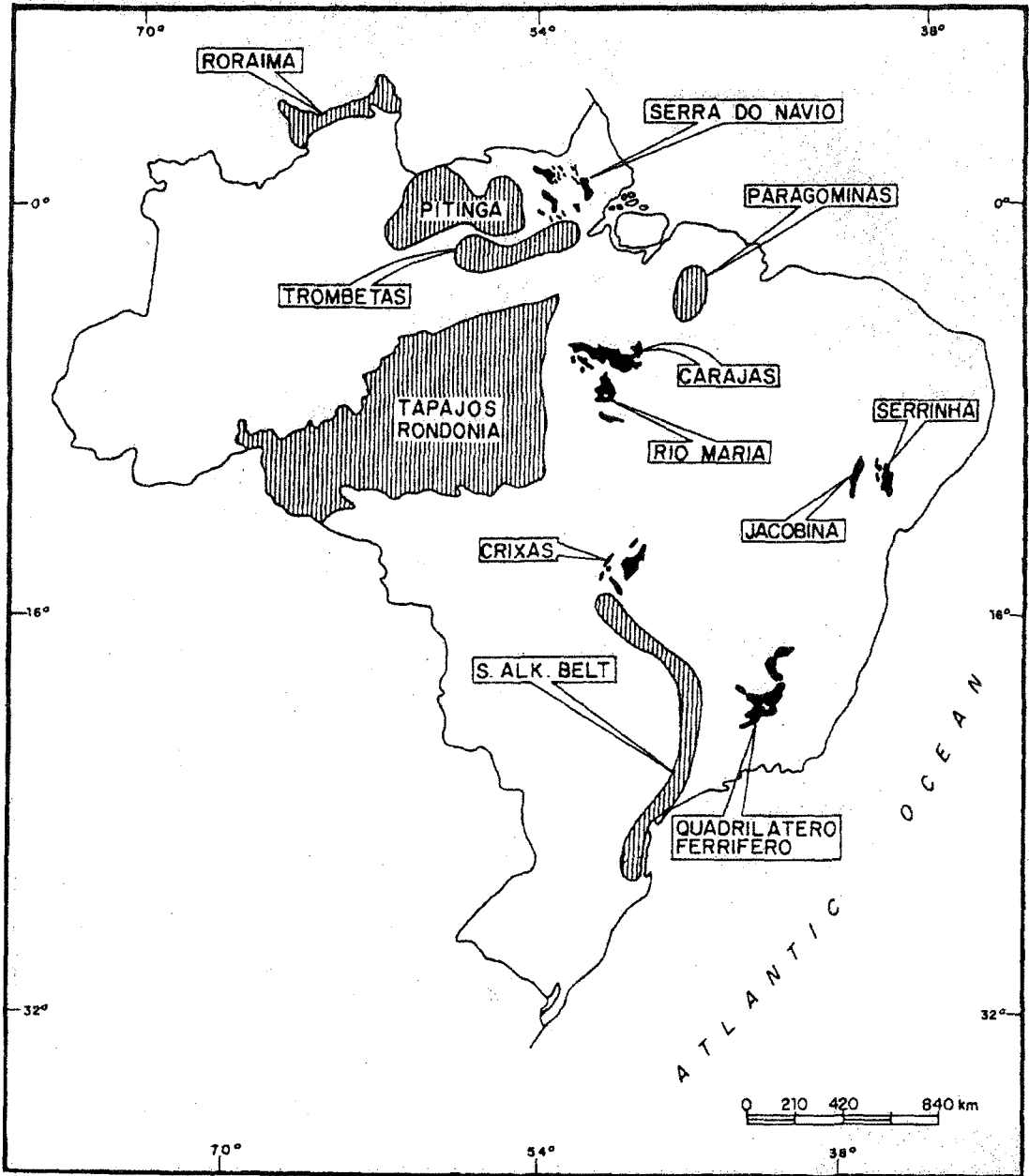


Fig. 2. Principal mineral provinces of Brazil (Kashida *et al.*, 1990).

마리아(Rio Maria) 광상구, 카라자스(Carajas) 광상구, 자코비나(Jacobina) 광상구, 세로 도 나비오(Serra do Navio) 광상구, 타파조스-론도니아(Tapajos-Rondonia), 이피팅가(Ipitinga) 및 로라이마(Roraima) 광상구, 트롬베타스-자리(Trombetas-Jari) 및 파라고미나스(Paragominas) 광상구와 남부 알칼리(alkaline)대 광상구의 8개 광상구로 구성된다(Fig. 2; Kashida *et al.*, 1990). 이

들 광상구에 대해서는 Kashida의(1990)을 기본으로 하여 JOGMEC(2005)의 내용을 보완하였으며 그 개요는 다음과 같다.

4.1. Quadrilatero Ferrifero(Iron Quadrangle) -Espinhaço 남측 광상구

본 광상구의 지질은 시생대 및 하부와 중부 원생대

의 고변성 기반암과 선지각 암석으로 구성된다. 시생대의 선지각 암석은 녹색암대형의 화산성 퇴적암층과 17세기부터 금을 채광한 Nova Lima Group으로 대표된다. 백만 온스보다 큰 대규모의 금광상은 시생대의 암석이 모암이며 Raposos, Morro Velho, Cuiaba 및 Sao Bento 지역을 포함한다. 금광상은 Quadrilatero Ferrifero 북측에 위치한 Espinhaco 남측에서 압쇄된 기반암과 중부 원생대에서 역시 발견된다. 금은 성인으로 South Africa의 Witwatersrand의 산출상태와 비슷한 oligomitic 역암에 연관되거나 또는 철층(iron formation)에 연관된 맥계(vein system)와 광화된 압쇄대에서 산출된다. Quadrilatero Ferrifero에서 하부 Proterozoic 퇴적암층은 거대한 Superior형의 고품위 철광상뿐만 아니라 중요한 금광상의 모암이다. 이 지역에서 철 생산은 연간 10억톤(M/T)에 이른다.

4.2. Serrinha, Crixas 및 Rio Maria 광상구

Bahia주의 Serrinha, Goiás주의 Crixas 및 Amazon 지역의 Rio Maria의 광상구의 지질은 Archean 화강암 및 녹색암대의 암군이 우세하다. 이들 암석은 Serrinha 지역에서 Fazenda Brasileriro와 고품위 금광석의 매장량이 300톤(M/T)이상인 Crixas광산을 포함하는 금광상의 중요한 모암이기도 하다. 크로마이트는 Serrinha지역에서 또한 생산된다.

4.3. Carajas 광상구

Carajas 광상구는 Amazon 강곡에서 상대적으로 새롭고 가장 유망한 광상구이다. 이 광상구는 철층과 쇄설퇴적암과 연관된 bimodal 화산암을 갖는 Archean 열곡분지이다. 변성작용은 녹색편암상에서 각섬암상의 범위를 갖는다. 관입암은 Archean의 염기성 및 초염기성 암상(sill)과 암맥, 하부 Proterozoic의 화강암과 젊은 염기성 암맥을 포함한다. 이 지역의 광물 가치는 크고 다양하나 아직도 잘 평가되지 않고 있다. 이들 광물은 철, 망간, 금, 동, 보크사이트, 주석과 니켈이다. 이 광상구의 고품위 철광석은 추정광량 180억톤(M/T)으로 이 광상구의 현재 가장 중요한 상품이다. 생산은 현재 연간 3억톤이며 앞으로 10억톤 이상으로 생산할 계획이다. 망간 또한 고품위 야금 형태의 생산물이며 전기전지를 위한 자연적 망간 이산화물이다. 여러 금광상이 이 광상구에 분포되며, 중요한 두 광상은 Serra Pelada와 Igarape Bahia이다. Serra Pelada 금광상은 1980도 초반에 금 쇄도(rush)동안 유명해졌다. 약 만명이 어떤 기계적인 방법도 사용하지 않고 원시적인 방

법으로 연간 15톤의 금을 생산하였다. Igarape Bahia 금광상은 80톤의 매장량을 갖는 라테라이트 금광상으로 1990년부터 채광하기 시작했다. Crajas 광상구의 동 매장량은 추정광량 10억톤이며 금을 수반한다. 보크사이트 광상은 환경적인 이유로 아직 개발되고 있지 않다.

4.4. Jacobina 광상구

Jacobina 광상구는 Bahia주에 위치하며 하부 Paleozoic 퇴적층에 의해 지배된다. 금광상은 oligomitic 역암에 연관되며 성인으로 Witwatersrand 광상과 대비된다. 크로마이트는 이 광상구에서 기반암을 관입한 초염기성암에서 산출된다. 에메랄드 광상은 초염기성암에 화강암이 관입하는 지역에서 산출된다.

4.5. Serra do Navio 광상구

이 광상구는 Amapa의 Guiana 강곡에 위치하며 하부 Proterozoic 변성퇴적암류에 의해 피복되고 있다. 큰 Serra do Navio 망간 광상은 이들 변성퇴적암류가 모암이며 금과 크로마이트 역시 이 광상구에서 산출된다.

4.6. Tapajos-Rondonia, Ipitinga 및 Roraima 광상구

이 광상구는 Amazon 지역에 위치하며 지질학적으로 거의 알려지지 않았다. 하지만 이 광상구는 브라질에서 석석 노두의 95% 정도를 갖는다. 이 광상구는 세계에서 주석의 많은 양을 생산하며 브라질의 금 생산의 절반보다 많은 가치가 있다. 세계적 주석광산 중의 한 광산이 Pitinga 지역에 위치한다. Tapajos로부터의 금 생산은 1970년 이래 연간 20톤으로 추정된다. 금의 대부분과 석석의 상당 부분은 개인적 채굴업자, 불법과 불법성의 모험자 등을 포함하는 garimpeiros 단체에 의해 생산되고 있다. 불행하게도 체계적인 지질학적 연구는 이 Tapajos에서 수행되지 않았다. 이 광상구는 대규모 육성기원의 산성 화산암층에 의해 특징 지워지며 비조산대 화강암과 관련된다. 금과 석석을 제외하고도 이 광상구에는 콜럼바이트(columbite), 흑중석(철망간중석, wolframite), 희유원소 및 형석과 같은 광물을 채굴하는 많은 광상이 있다.

4.7. Trombetas-Jari와 Paragominas 광상구

이 광상구는 백악기 세일과 제3기 라테라이트로 구성된다. 이들 암석은 보크사이트와 카올린 광상의 모암이다. 많은 매장량에도 불구하고 야금적 보크사이트

는 Trombetas의 Mineracao Rio do Norte(연간 1억 톤)에서만 생산된다. 종이원료로 쓰이는 카올린은 Jari에서 생산되며 여러 계획이 Trombetas-Jari와 Paragominas 지역에서 전개되고 있다.

4.8. 남부 alkaline대 광상구

남부 alkaline대 광상구는 Catalao, Tapira 및 Araxa를 포함하는 여러 탄산염 관입체가 산출된다. 이들은 탄산염암을 피복하는 라테라이트에서 세계적으로(세계 매장량의 90%이상) 매우 큰 니오비움 광상의 모암이다. 탄산염암-라테라이트에 연관된 광상은 또한 티타늄(아나타스), 희유원소가 풍부한 인회석 및 질석을 포함한다.

5. 탐광 상황

Metals Economics Group(2004)에 의하면, 2004년에는 39사가 131백만달러(US)의 탐광투자를 실시하고 있다. CVRD사의 67.5백만달러(US)를 필두로 Anglo Gold Ashanti사의 10.2백만달러(US), Yamana Gold사의 9.2백만달러(US)이다. 최대의 투자는 CVRD로 브라질 11주에서 동, 동·금, 니켈 탐사에 19.8백만달러(US)를, Carajas 지역의 백금광상 탐사에 5.8백만달러(US), Para주, Bahia주, Minas Gerais주 및 Mado Grosso주에서의 다이아몬드 탐사에 3.9백만달러(US), 기타 Para주의 Campi Roiver 지역의 카올린 광상 탐사 외에 12.4백만달러(US)를 투자하고 있다. 칠레의 CODELCO는 Para주, Goias주, Bahia주에서의 탐사에 4.6백만달러(US)를 투자하고 있다. Anglo American사도 그라스루트의 동·금광상 탐사에 3.7백만달러(US)를 투자하고 있다. Anglo Gold Ashanti사는 6백만달러(US), Desert Sun Mining사는 Jacobina 광상을 포함한 Bahia주의 금광상 F/S에 5백만달러(US)를 투입하고 있으며, 광상탐사로 CVRD의 Sossego 광상 주변, Para주의 PPSA 카올린광상 및 Carajas 지역의 Azul의 망간광상 탐사에 7백만달러(US)를 투자하고 있다.

광종 형별로 보면 동에서는 CVRD가 최대의 광구를 소유하고 있고, CODELCO, Mineracao Tabulerio, Joari-Sociedade de Mineracao Joari Ltda, Montague Brasil Recursos Minerais Ltda 순이다. 특히 CODELCO는 신청 중의 광구를 포함하면 브라질에서 동을 대상으로 한 최대 면적을 가지고 있어 향후 탐사

동향에 주목할 필요가 있다. 니켈에서는 CVRD, Falconbridge Brasil Ltda, Teck Cominco Brasil S/A, Inco Brasil Ltda, BHP Billiton Metais S/A 등이 탐사를 실시하고 있다. 아연은 CVRD, Companhia Mineira de Metais, Companhia Baiana de Pesquisa Mineiral 등이 탐사를 실시하고 있다.

6. 결 론

브라질의 광상구는 크게 Quadrilatero Ferrifero(Iron Quadrangle)-Espinaco 남부 광상구, Serrinha, Crixas 및 Rio Maria 광상구, Carajas 광상구, Jacobina 광상구, Serro do Navio 광상구, Tapajos-Rondonia, Ipitinga 및 Roraima 광상구, Trombetas-Jari 및 Paragominas 광상구와 남부 alkaline대 광상구의 총 8개 광상구로 구성된다. 브라질의 광물산업의 잠재력은 지질 및 광상의 규모면에서 현재까지도 완전히 알려지지 않고 있으며, 특히 광물자원의 탐사는 아직까지도 미비하여 정밀한 탐사를 수행할 경우 금속자원을 발견할 소지가 많은 나라이다. 따라서 브라질의 금속광물자원에 대하여 알아 두면 우리나라 기업이 진출해서 광물자원탐사와 금속자원의 안정적인 공급원을 확보하는데 크게 도움이 될 것이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본 과제인 “국내 전략광물자원 재평가와 광상탐사 요소기술개발” 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- DNPM (2003) Informe Mineral - Desenvolvimento & Economia Mineral-. 25p.
- JOGMEC (2005) Research of environment for developing resources-Brazil, 83p.
- Kashida, A., Lobato, L., Lindenmeyer, Z. and Fyfe, W.S. (1990) Introduction: Brazil, the sleeping resource giant. Econ. Geol., v. 85, p. 899-903.
- Metals Economics Group (2004) Corporate exploration strategies v. 1, A World Wide Analysis. 373p.
- MME (2005) Informativo Estatístico Sector Metalurgico. No. 122, Fevereiro, 30p.

2007년 8월 31일 원고접수, 2007년 12월 3일 게재승인.