

해저열수광상 개발동향과 우리나라의 대응방안

박성욱 · 양희철 · 정현수*
한국해양연구원 해양정책연구실

Strategies for Development of Seafloor Polymetallic Sulphides in Consideration of International Progress

SEONG WOOK PARK, HEE CHEOL YANG, AND HYEON SU JEONG*
Ocean Policy Research Division, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

해저열수광상은 황화물 미네랄이 해저의 열수작용을 통해 형성된 광상을 의미하며 특히, 구리, 납, 아연, 금, 은 등의 금속이 다량 포함되어 있다. 현재 해저열수광상 개발분야의 선두주자는 노틸러스사이다. 노틸러스사는 파푸아 뉴기니, 피지, 통가, 솔로몬제도, 뉴질랜드 등 남서태평양 도서국에 약 37만 km²에 달하는 탐사권을 보유 또는 신청해 놓은 상태이다. 뱀토타 역시 뉴질랜드, 파푸아뉴기니, 마이크로네시아에서 27만 km²가 넘는 면적의 탐사권을 취득하였다. 이들 두 광업회사는 2010년 세계 최초로 해저열수광상의 상업생산을 목표로 적극적인 활동을 전개하고 있다. 주변국가인 중국과 일본은 전략광물의 안정적 공급을 위하여 해저열수광상 탐사활동을 적극적으로 수행하고 있는 실정이다. 중국의 경우 중국해양협회를 통해 전 지구 대양을 대상으로 심해저자원개발을 위한 국가연구개발사업을 수행하고 있다. 일본의 경우 자국의 EEZ를 중심으로 해저열수광상 조사사업을 수행하고 있다. 이러한 국제적인 해저열수광상 개발동향을 고려하여 우리나라의 해저열수광상 개발을 위한 전략방향을 소관부처의 일원화와 법제도 정비, 사업추진주체 결정, 정부의 적극적 예산지원, 해저열수광상 개발을 위한 중장기 계획수립 등의 측면에서 제안하였다.

Polymetallic sulphides means hydrothermally formed deposits of sulphide minerals which contain concentrations of metals including, inter alia, copper, lead, zinc, gold and silver. Nautilus is the first company to commercially explore the seafloor polymetallic sulphide deposits. The Company holds exploration licences and exploration applications for more than 370,000 km² in the jurisdictional seas of Papua New Guinea, Fiji, Tonga, the Solomon Islands and New Zealand along the western Pacific Ocean's Rim of Fire. Neptune Minerals is also a leading explorer and developer in this field, with exploration licences awarded totalling more than 270,000 km² in the territorial seas or EEZ of New Zealand, Papua New Guinea and the Federated States of Micronesia. These two companies now carry out the most active investment activities for seafloor polymetallic sulphide deposits with a goal of commercial production by 2010. China and Japan carry out exploration activities for the seafloor polymetallic sulphide deposits to secure supplies of strategic metals. China carries out national R&D projects relating to deep sea mineral resources in the world ocean through China Ocean Mineral Resources R&D Association (COMRA). And Japan investigates her own EEZ for exploration of the seafloor polymetallic sulphide deposits. In consideration of aforementioned international activities of coastal nations as well as private companies for exploring the sulphide deposits, Korea shall prepare strategic plans : First, consolidation of the authorities concerned and legislative support; second, determination of main entity of the project; third, securing government's decisive investment of sufficient budget; and lastly, establishment of the mid, long-term plan for development of seafloor polymetallic sulphides deposits.

Keywords: Seafloor Polymetallic Sulphides, Commercial Development, Exploration Licence, Exploration Application, Jurisdictional Seas

서 론

해저열수광상(seafloor polymetallic sulphides)은 황화물 미네랄이 해저의 열수작용을 통해 형성된 광상을 의미하며 특히, 구리,

납, 아연, 금, 은 등의 금속이 다량 포함되어 있다. 해저열수광상은 마그마 영향에 의한 화산활동과 밀접한 관련이 있는 것으로 추정되고 있으며, 화산활동은 육지에서 보다 해저에서 훨씬 빈번히 그리고 강하게 발생한다고 보고되고 있다(이와 박, 1999). 심해저 열수침니와 생물활동에 대한 연구는 미국이 태평양 갈라파고스섬 주변 해역에서 해저열수광상을 찾는데 성공한 이래, 소수의 선진

*Corresponding author: jeonghs@kordi.re.kr

국을 중심으로 다양한 탐사와 상업적 개발 가능성에 대한 연구활동이 진행되어 왔다. 해저열수광상은 공간단편에 비해 금속 품위가 높고 부존 수심이 얇지만, 광상형성 및 부존형태의 특성상 발견과 채광이 어렵다는 점에서 개발 가능성이 낮은 것으로 평가되어 왔다. 그러나 1990년대 중반이후 개발된 다양한 탐사장비와 채광기술의 개선은 해저열수광상에 대한 새로운 연구투자 의지를 촉발하게 되었다. 해저열수광상의 기대가치 제고에 따라 미국과 일본을 비롯한 선진국들은 해저열수광상 선점을 위한 연구개발에 본격적인 노력을 경주하기 시작하였고, 그 범위는 연안국의 EEZ 뿐만 아니라 공해까지 확장된 형태로 추진되고 있다(박 등, 2003).

최근에는 해저열수광상을 상업적으로 개발하기 위한 노틸러스사(Nautilus Minerals Inc)와 넵툰사(Neptune Minerals Plc)와 같은 민간기업들의 적극적인 활동이 국제사회의 주목을 받고 있다. 우선 노틸러스사는 1997년 파푸아뉴기니 EEZ 해역에서 탐사면허를 획득한 이래 2006년부터는 실질적으로 자금확보 및 관련 광업회사들과의 제휴, 채광선 건조 등의 활동을 전개하고 있으며, 2010년 세계 최초로 해저열수광상의 상업개발을 목표로 하고 있다. 넵툰사는 2002년 이후 뉴질랜드 EEZ 해역의 세 곳에서 탐사면허를 취득하여 2010년 해저열수광상의 상업개발을 목표로 체계적인 탐사와 연구결과를 도출하고 있다. 노틸러스사와 넵툰사는 기 확보한 탐사광구에서의 투자활동과 동시에 타 유망광구의 선점을 위하여 태평양 연안국의 EEZ를 중심으로 탐사권을 경쟁적으로 신청확보하고 있다.

해저열수광상 개발을 위한 각국의 연구와 선구적 민간기업의 투자는 해저열수광상의 개발이 국제해저기구(ISA)의 규제를 통한 심해저에서의 개발(국제해저기구는 해저열수광상에 대한 광업규칙 제정을 위해 2001년부터 논의를 시작하여 금년에 제2회회를 완료하였다. 이에 대한 자세한 사항은 <http://www.isa.org.jm> 참조)과 연안국 EEZ 수역에서의 개발이 가시화 되고 있음을 의미한다. 우리나라의 정책 방향 역시 이러한 전개 과정을 분석하고 지속적인 국익 반영의 노력으로 구체화되어 진행되어야 한다. 이미 일부 태평양 연안국가의 EEZ 해역에서는 우리의 탐사해역과 외국 민간기업체의 탐사권 신청 해역이 중첩된 예를 경험한 바 있다.

따라서 본 논문은 우리의 심해저자원개발 정책과 해저열수광상 연구의 방향설정을 위한 객관적 조정요소로 해저열수광상에 대한 국가적 차원의 연구개발을 확대하고 있는 중국과 일본의 해저열수광상 개발 현황을 우선 살펴보고, 해저열수광상의 상업적 개발을 선언한 노틸러스사와 넵툰사의 활동 현황을 분석한 후, 우리나라의 해저열수광상 개발을 위한 전략방향을 제시하고자 한다.

우리나라 및 주변국의 해저열수광상 개발 동향

우리나라

선진국의 해저열수광상 연구에 비하여 기초단계에 속하는 우리나라는 1998년 처음 한국해양연구원 기관 고유사업으로 마이크로네시아의 EEZ 해역에 위치한 Yap 해구 지역의 실험해역 탐사(한국해양연구소, 1999)와 1999년 파푸아뉴기니의 마누스 분지 탐사를 수행한 바 있다(한국해양연구소, 2000). 그러나 이는 국가 차원의 지원체계가 수립되지 않은 년 8일이라는 소규모 탐사작업이었다. 우리나라의 해저열수광상 개발에 대한 본격적 논의는 2000년 해

양수산부가 국가연구개발사업으로 추진하고, 2003년 북피지 분지에 대한 탐사를 비롯하여 이후 매년 태평양 연안국의 EEZ를 대상으로 하는 탐사작업을 수행하면서 가속화되었다.

우리나라는 경제성장에 필수적인 전략금속을 확보하기 위하여 심해저 자원개발 다변화의 일환으로 남태평양 지역의 해저열수광상 및 망간각 자원개발을 추진하고 있다. 구 해양수산부는 해저열수광상 자원개발을 위하여 2002년부터 5년에 걸쳐 약 31억원을 투입하였다. 우리나라의 해저열수광상 탐사 및 개발 사업계획에 따르면 2007년과 2008년에는 통가의 라우분지에 대한 정밀탐사를 수행하고, 2008년 이후 탐사권 신청을 준비하여 2010년에 비로소 탐사권을 취득하는 것을 목표로 하고 있다.

우리나라는 해저열수광상자원에 대한 탐사활동을 해양과학조사의 일환으로 수행해 왔다. 그러나 노틸러스사 등 민간기업이 막대한 자금력을 동원하여 남태평양 지역을 중심으로 유망한 열수지역에 대해 탐사면허를 신청하면서 우리나라의 자원개발을 위한 접근 방식을 전면적으로 재검토하지 않으면 안되는 상황에 부딪히게 되었다.

노틸러스사가 통가에 탐사면허를 신청한 광구면적은 약 87,500 km²에 달한다. 이 중 노틸러스사의 면허신청 지역에서 우리나라가 탐사를 수행했던 FRSC 01, 02, 03, 04 및 MTJ-1, VF지역과 중첩되는 부분의 면적(해당 지점의 노틸러스사 측 단위광구 기준)은 약 19,000 km² 정도이다. 이는 궁극적으로 우리나라가 지금까지 30여억원을 들여 조사한 통가지역이 이미 노틸러스사가 신청한 지역과 중복되기 때문에 우리나라는 자원에 대한 어떠한 권리도 주장할 권원이 없는 해양과학조사에서 탐사면허에 기초한 자원탐사로 전환하거나 새로운 지역을 찾는 방안을 심각하게 검토하여야만 했다. 노틸러스사가 통가로부터 동 지역에 대한 탐사면허를 받을 경우 우리나라가 현재까지 동지역에서 투자한 것에 대해 어떠한 보상도 받을 수 없기 때문이다.

이에 우리나라는 즉각적으로 현재의 사업추진계획을 재검토하고 새로운 사업전략과 계획수립 등 대응방안을 강구하게 되었다. 그리고 우리나라의 통가 해역에 대한 탐사권 신청 및 획득 가능성을 통가 현지 방문 및 관계자 접촉을 통해 확인하였다. 우리 정부의 적극적 지원과 지속적인 노력의 결과 우리나라는 2008년 3월 통가 EEZ 내 약 20,000 km²에 달하는 지역에 대하여 통가정부로부터 탐사권을 획득하게 되었다. 앞으로 우리 정부는 탐사권을 확보한 통가해역에 대하여 2011년까지 정밀탐사를 통한 개발 경제성 평가 실시 후 2012년부터 개발권 확보 및 상업생산시스템 구축을 거쳐 상업생산에 돌입할 예정이다.

중국

중국은 심해저 지역에 대한 탐사연구로 중국대양협회를 통해 동태평양 해령(洋隆)암석, 침적물, 황화물 등의 샘플링 연구 작업을 수행하였고, 일부 암석과 침적물 등의 입자, 상수(常量), 희귀 원소 데이터와 수체(水體) 샘플의 음-양이온 데이터에 대한 분석을 진행한 것으로 보고된다(馮와 李, 2004).

중국은 2005년 대양 1호를 통해 수행한 첫 번째 해저열수광상 연구로 서남인도양 2400미터 수중 해령 열수침니 부근에서 황화물과 침적물 약 45 kg의 샘플을 채취하였다(2005. 9.20일자 중국해양보; 北京科普 <http://www.bast.net.cn/bjkpzc/kjqy/hyhx/63609.shtml>). 이는 중국의 지구과학과 극한 환경하의 생명과학연구에 중

요한 자료를 제공함으로써 세계 해양과학에서의 중국의 입지를 한층 제고하는 계기가 되었다.

중국의 심해저 자원개발을 위한 가장 최근의 탐사연구는 2007년 1월 진행되었다. 대양 1호는 “중국 대양 DY115-19 과학탐사 항행”을 위해 청도를 출항, 인도양과 태평양 항행 일정을 시작하였다. 본 항행은 총 220일에 걸쳐 수행되며, 2007년 1월 8일 출항하여 6개 항행 단계를 거쳐 동년 8월 15일 종료 되었다. 본 항행은 2005년 지구항행 성과를 기초로 서남인도양, 서남태평양 및 서태평양의 일부 해역을 조사대상 지역으로 수행하였으며, 특히 해저열수광상 구조에 대한 자원탐사에 관련된 과학적·환경조사를 주요 목표로 하였다.

본 항행은 해저 열수활동 지역 발견을 통해 중국의 해저열수광상 개발을 위한 중요한 연구의 병목상태를 해결하기 위한 것이라는 점에서도 의의가 있었다. 해저열수활동 지역과 이상지역, 지질·생물·환경 샘플 및 자료의 채취 등의 연구 목표는 분명 2005년 대양 1호가 수행하였던 연구와는 달리, 그 연구대상이 해저열수활동의 현상과 영향 등 해저열수광상에 대한 조사로 전환이 이루어지고 있다는 것을 알 수 있게 한다(2007.1.9일자 중국해양보).

그러나, 이번 대양 1호의 항행과 관련하여 특히 주목하여야 할 것은 중국 심해저 사업에서는 처음으로 열수활동지역, 특히 흑연(黑煙: black smoke) 열수분출구를 발견하였다는 점이다. 대양 1호는 서남 인도양 해령에 위치한 새로운 해저열수활동 지역을 발견하고 열수침니의 위치를 확인하였으며, 또한 동남 인도양 해령에서도 해저열수 이상지역을 발견하였다. 이는 중국 심해저 탐사팀이 처음 자기 기술과 역량을 통해 심해저에서 발견한 열수지역 이면서, 동시에 세계에서는 처음으로 서남 인도양 해령에서 발견한 해저열수 활동지역이기도 하다(2007. 3.25일자 靑島新聞).

이 번 해저열수광상의 샘플 채취에서는 부착 생물개체가 발견되었는데, 이는 해당 지역이 대서양과 태평양의 다른 생물군이 교차하는 지대이기 때문인 것으로 추측하고 있다. 따라서, 생물개체 발견은 전지구 해령의 해저열수광상에 서식하는 생물다양성 분포와 이동 활동 연구를 통한 생명 기원 연구에 조력할 것으로 기대된다(<http://www.comra.org/haidi/2007/070323.htm>).

중국 대양협회는 《조사와 연구과제에 대한 수석과학자 및 책임과학자 관리조치》에 근거하여 2007년 4월 2일 “十一·五(2006년~2010년)” 계획 기간 동안 수행될 해저열수광상을 포함한 심해저 관련 과제를 선정하여 통지하였다(중국대양협회, 2007). 공고된 과제를 기술별로 보면, 7,000미터 작업기술 사업(8개 과제), 심해 채광기술 사업(35개 과제), 심해 탐사기술 사업(58개 과제) 등으로 구분할 수 있다. 연도별 사업과 각 5개년 단위별 사업계획 및 각 단위별 사업추진 방향으로 보건대, 사업의 연계성과 종합적 추진전략이 상황에 따른 조정절차를 통해 진행되고 있음을 알 수 있다.

중국의 심해저 진출이 전략자원 확보를 통한 해양력 및 국가 경쟁력 확보를 위한 거시계획의 일환으로 추진됨을 고려할 때, 이는 직간접적으로 우리의 자원확보와 기술개발 측면에서 경쟁관계를 야기할 수 있음을 주지하여야 한다. 이처럼 국가적 역량을 동원하여 심해저 사업에 적극 진출하고 있는 중국의 정책과 연구 개발 영역, 성과 등에 대한 지속적 모니터링을 통해 우리나라의 해저열수광상 개발전략 수립에 적극 반영하여야 할 것이다.

일본

일본의 심해저 광물자원조사 사업은 95%가 2010년에 있을 유엔대륙붕한계위원회에의 신청기한을 고려하여 대륙붕연장 가능성이 있는 일본 주변해역에 집중적인 조사를 실시하고 있다.

2005년도 심해저광물자원개발 사업에 투입된 총 예산은 망간각 및 해저열수광상 탐사에 30억엔, 신체력기술로서 박테리아를 이용한 망간각 유용광물회수 기술인 Bio-leaching 연구사업에 3천만엔, 심해저광물자원탐사전용선 「제2하쿠레이마루」(전장 88.8m, 총배수톤수 2,126톤)의 운영주체인 심해자원개발주식회사(DORD: Deep Ocean Resource Development Co., Ltd.)에 7천만엔이 지원되었다.

일본의 EEZ 내의 플레이트 경계주변에 있는 도호와 배호지역에서는 활발한 해저열수활동이 보이고 있다. 특히 필리핀해 플레이트 북동해역의 이즈·오가사하라 해역이나 유라시아 플레이트 동해역의 오키나와 Trough 해역에는 해저열수활동을 동반한 흑광형 해저열수광상이 포함되어 있다.

일본은 2005년도 이후부터는 해저열수광상 사업을 일본 EEZ와 대륙붕 연장해역에서 흑광형 해저열수광상의 분포와 자원으로서의 가능성 탐사에 한정하고 특히, 센카쿠(중국명 댜오위다오)열도 주변의 중일경계지역에서 탐사를 집중하고 있다.

구 금속광업사업단이 SOPAC 지역에서 추진해 왔던 망간각 및 해저열수광상 탐사사업은 2005년을 기점으로 종료하고 향후 SOPAC 관련 사업은 해양지구물리화학 분야를 중심으로 JAMSTEC이 주관하여 추진예정인 것으로 앞으로의 ODA(Official Development Assistance)프로그램은 육상광물자원개발사업에 집중할 예정에 있다.

2008년도에는 유라시아 플레이트 동해역의 오키나와 Trough 해역을 중심으로 해저열수광상의 분포와 자원으로서의 개발가능성을 조사하고, 자국 EEZ 내에서의 개발 가능성을 평가하기 위해 기 개발된 망간단괴 채광시스템기술의 응용 가능성과 특히 집광시스템, 굴착기술(핸들링 및 가스펌프)등 요소기술의 개발 및 기능 확인에 필요한 기초적 기술을 확립코자 약 5억엔(약 50억원)의 예산을 배정받아 추진할 계획에 있다. 여기에는 최근 넵튠사의 일본법인에 의한 일본 EEZ 내의 광구신청이 큰 영향을 미쳤다. 일본은 향후 넵튠사와 컨소시엄 등의 방식으로 해저열수광상 개발을 위하여 협력관계를 유지할 것으로 예상된다.

외국계 기업의 자국 EEZ 내 해저열수광상 광구신청에 자국을 받아 일본이 해저열수광상에 대한 R&D 투자를 재개한 것이나 그 예산규모는 시사하는 바가 크다고 하겠다.

주요 민간기업의 해저열수광상 개발 동향

노틸러스사

일반현황 : 노틸러스사는 세계 최초로 구리, 아연, 금, 은을 함유하고 있는 해저열수광상의 상업적 탐사를 시작한 회사이다. 노틸러스사는 해저광물탐사 분야에 있어서 선두주자를 자처하며, 현재 파푸아뉴기니의 Solwara 1 광구에서 2010년 후반 해저열수광상의 상업개발을 목표로 사업을 활발히 추진하고 있다.

노틸러스사는 1996년 호주인이 운영하는 소규모 민간광업회사로 출발하였으나, 현재 세계적인 주요 광업회사들이 주주로 참여하고 있는 주식상장기업으로 급속도로 성장하였다. 2006년 5월 8

일과 2007년 2월 2일자로 각각 토론토증권시(Toronto Stock Exchange Venture(TSX-V))와 런던증권시(AIM)에 상장하였으며, 2007년 8월 24일에는 TSX Venture에서 TSX로 옮겨 거래를 다시 시작하였다. 노틸러스사는 본사를 캐나다에 두고 있으며, 파푸아뉴기니, 바누아투, 호주, 피지, 미국 등지에 자회사를 두고 있다. 노틸러스사 그룹의 지배구조는 다음과 같다(Fig. 1). 이렇게 동일한 지역이면서도 다수의 자회사를 설립한 것은 사업상의 여러 위험요소들을 분산시키기 위한 투자전략으로 보인다.

노틸러스사는 해저열수광상의 상업탐사를 본격적으로 추진하기 위하여 2006년 5월 주식상장 이후 8개월 동안 투자자금을 확보하기 위하여 다방면으로 적극 노력하였다. 이러한 노력의 결과 노틸러스사는 2007년 2월까지 US\$ 275백만에 달하는 자금을 확보하였다. 이러한 자금은 공격적으로 탐사사업을 추진하는데 기여할 것이며, Solwara 1에서의 상업생산을 위한 충분한 자금 규모로 평가되고 있다. 노틸러스사가 발행한 주식의 토론토와 런던증권시에서의 시가총액은 2008년 4월 현재 각각 C\$ 336백만, £ 166.35백만에 달한다. 노틸러스사가 2008년 3월 1일자로 은행에 보유하고 있는 현금은 US\$ 307백만에 달한다.

노틸러스사의 대주주는 세계적인 자원개발회사들인 러시아 광업회사 Metalloinvest Group의 자회사인 Epion Holdings를 비롯하여, Teck Cominco, Anglo American 등이 참여하고 있다. 특히 Teck Cominco사는 2008년 노틸러스사와 합작투자를 위해 투자한 US\$ 12백만을 파푸아뉴기니, 통가, 뉴질랜드의 대상해역 4곳 중 1개 이상의 지역에 대하여 실행역탐사를 수행하는데 투입할 예정이다.

노틸러스사는 이들 회사들이 해저광물자원 개발사업에 투자자로 참여하였다는 것에 대해 노틸러스사가 추진하고 있는 사업이 광업부문의 미래에 중요한 의미를 가지고 있음을 보여주는 것이라고 의미를 부여하고 있다. 더 나아가 이들 광업회사들이 스스로 해저광물자원을 개발하기보다 노틸러스사의 사업에 직접투자하는 방식을 선택했다는 사실은 노틸러스사가 처음으로 해저열수광상을 상업개발하고자 하는 사업계획을 주도면밀하면서도 성공적으로 추진해 왔음을 확인해 주는 것이라고 평가한다. 이들 광업회사들은 향후 2011년까지 파푸아뉴기니, 통가, 피지를 포함한 서태평양도서국의 해역에서 노틸러스사와 경쟁하지 않는다는 데 동의하였다.

이렇게 확보된 자금은 기타 재원과 합하여 해저채광장비의 설계 및 제작 외에 공장부지 취득 및 육상선광소(land-based

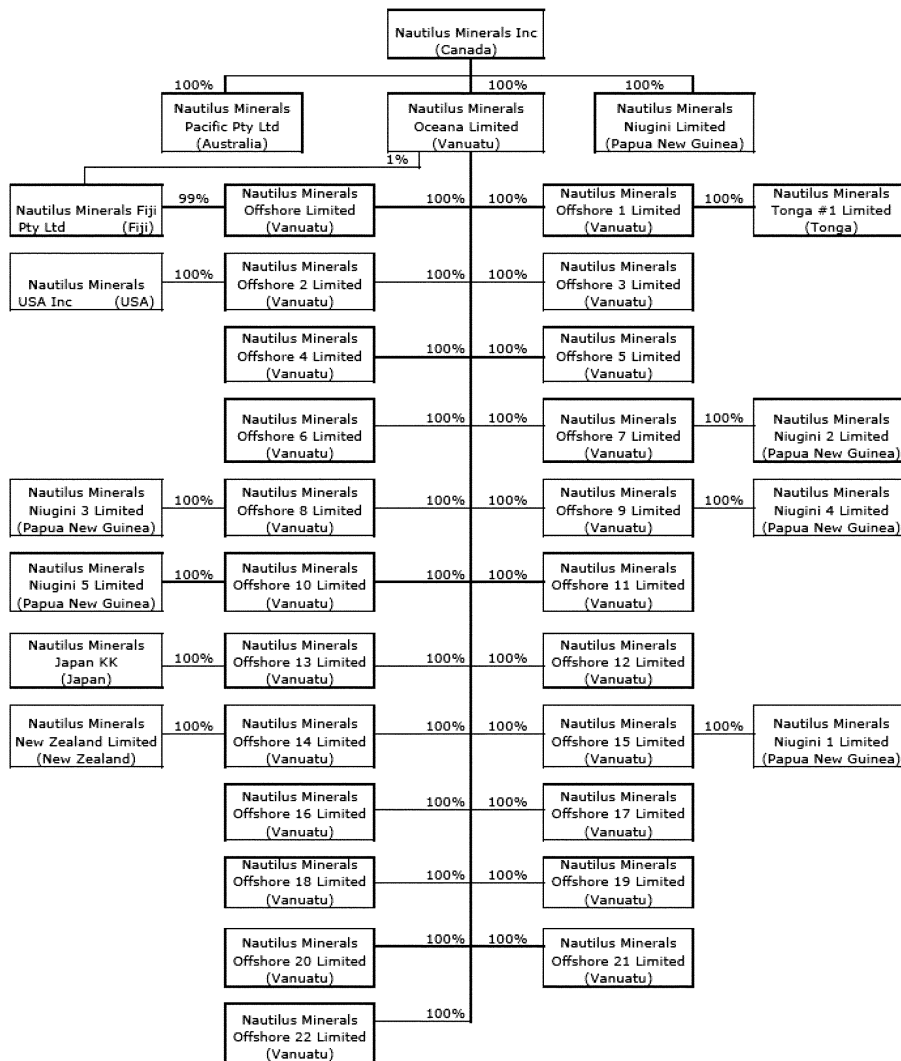


Fig. 1. Nautilus Group Structure.

Table 1. Major Shareholders of Nautilus as at January 2008

Shareholder	% of Shares
Epion Holdings	22.4
Teck Cominco	7.2
Anglo American	5.7

concentrator) 건설 등을 위해 사용될 예정이다. 또한 노틸러스사는 Solwara 1 광구에서의 상업생산을 위해 필요한 목표자금의 부족분에 대해서는 그룹 자본금의 이자수입, 기존 주주들로부터의 추가 투자, 선광소 지원업체(proposed concentrator)로부터 생산물 구매협정(off-take agreement)을 위한 선지급금, 인프라시설 또는 선광소 채권발행(debt financing) 등을 통해 조달할 계획이다.

해저열수광상 개발 현황: 노틸러스사는 파푸아뉴기니 해역에서 수십년간 축적된 과학적 지식에 기초하여 해저열수광상을 상업적으로 개발하기 위하여 설립되었다. 노틸러스사는 1997년 11월 파푸아뉴기니의 관할수역에서 해저열수광상 자원탐사를 위한 탐사면허를 취득함으로써, 해저열수광상을 개발하기 위하여 탐사면허를 취득한 세계 최초의 회사가 되었다. 노틸러스사는 파푸아뉴기니 외에도 통가와 피지, 솔로몬제도, 뉴질랜드에 탐사면허를 신청하거나 이미 확보하였다.

노틸러스사가 2006년 중점적으로 추진했던 사업은 파푸아뉴기니의 Solwara Project이며, 그 중에서도 현재 작업진척이 가장 빠른 곳은 Solwara 1 Project이다. 노틸러스사는 이 Solwara 1 광구에서 2010년말부터 상업생산에 돌입하는 것을 목표로 설정하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 노틸러스사는 이 광구에서 2005-2006년에 걸쳐 상업적 개발을 위한 광구평가 및 시험채광을 실시하였다. 2007년도에는 2척의 연구선을 이용하여 200일간의 실험 탐사를 실시하였으며, 파푸아뉴기니의 4곳에서 새로운 열

수지역을 발견하였다. 이와 함께 세계 최초로 Solwara 1 광구에 대한 자원량 평가('NI 43-101 drill resource')를 완료하였다.

2008년도에는 노틸러스사가 2010년 파푸아뉴기니의 Solwara 1 광구에서 해저열수광상의 상업생산을 달성하기 위하여 세계 최초로 상업개발에 착수한 아주 의미있는 해이다. 노틸러스사는 구체적 상업생산 목표를 달성하기 위하여 2007년 말에는 채광장비 제작을 위한 계약을, 그리고 2008년 4월에는 양광시스템 공급계약을 이미 체결하였으며, 채광선 공급을 비롯한 제반 용역계약은 2008년 제2분기 중에 체결할 예정이다. 계속해서 육상선광소를 위한 부지를 선정하고, 개발광구를 대상으로 한 환경영향평가를 실시하는 등 파푸아뉴기니 정부에 개발권을 신청하기 위하여 만반의 준비를 하고 있다.

넵튠사

일반현황: 넵튠사는 해저열수광상의 탐사개발과 상업화를 목적으로 1999년 영국에서 설립되었으며, 2005년 10월 런던 주식시장(AIM)에 상장되었다. 넵튠사는 기존에 탐사광구를 신청하면서 설립한 11개의 현지법인과 2007년에 뉴질랜드에 추가적으로 탐사면허를 신청하면서 설립한 뉴질랜드 현지법인(Neptune Minerals (Havre) Ltd; Neptune Minerals (North Colville) Ltd), 그리고 멕시코의 현지법인(Neptune Minerals Mexico, S.de R.L de C.V.)을 포함하여 현재 총 13개의 자회사를 두고 있다. 이들 자회사의 지분은 100% 넵튠사가 소유한 형태로 현지투자자를 목적으로 설립되었다.

넵튠사의 시가총액(market capitalization)은 2006년 6월말 49백만에서 2007년 6월말 244백만로 증가하였다. 현재 넵튠사의 대주주는 7명이며, 이들이 보유하고 있는 주식은 넵튠사가 발행한 주식의 59.88%를 차지한다. 특히 2007년 6월에는 세계에서 2번

Table 2. Tenements of Nautilus as at March 2008

Location	Total Tenements Granted		Tenement Applications Underway	
	Number	Total Area km ²	Number	Total Area km ²
PNG	33	67,521	57	135,488
Tonga	16	78,977	2	8,907
Fiji	0	0	9	18,228
Solomon Islands	14	8,268	0	0
New Zealand	0	0	1	48,200
Total	63	154,766	69	219,091

Table 3. The Important Business Activities and Plan of Nautilus

Year	Activity
1997	Granted Exploration Licence, PNG
2005-2006	Undertook first drilling and sampling program at the Solwara 1 Prospect
2006	1) Entered into a Heads of Agreement with Jan De Nul to construct a deep sea mining vessel(lapsed) 2) Lodged additional licence applications(PNG) 3) Lodged new licence applications(Fiji, Tonga)
2006-2007	Completed US\$ 2.75 million private placement
2007	1) Completed resource estimate for the Solwara 1 Prospect 2) Signed Seafloor Mining Tool contract
2008	1) Signed Riser and Lifting System contract 2) Signed Mining Support Vessel contract 3) Submit Mining Licence application(scheduled)

Table 4. Major Shareholders of Neptune as at March 2008

Shareholder	% of Shares
Chetwynd Nominees Limited	17.5
Ismacate Pty Ltd	12.6
Newmont Mineral Holdings BV	10.6
Newsmith Opportunities Private Equity Fund	7.3
Credit Suisse Client Nominees (UK) Ltd	7.1
Morstan Nominees Ltd	7.1
JPF Energy Pty Ltd	6.6

째로 큰 금생산 회사인 Newmont사가 넵튠사의 새로운 투자자가 되었다. Newmont사는 향후 합작투자 방식으로 탐사활동에 참여한다는 옵션과 함께 £2.5백만을 투자하여 넵튠으로부터 10.85%의 지분을 매입하였다.

넵튠사의 해저열수광상 탐사면허 취득지역과 신청지역은 전 세계 해역을 대상으로 추진되나, 현재에는 기존 학술적 연구 결과를 토대로 도출된 상업적 개발 잠재력이 있는 해역에 집중되어 이루어지고 있다. 해저열수광상 분야에서는 가장 선구적이라 할 수 있는 노틸러스사와는 규모와 탐사지역 등의 투자 면에서 여전히 열세에 있으나, 넵튠사의 향후 사업 방향이 전 세계 해저열수광상 상업화의 촉진을 담당할 것이라는 점에서는 분명한 목표를 가지고 있다고 보여진다.

현재까지 해저열수광상에 관한 넵튠사의 탐사활동은 모두 뉴질랜드 EEZ 해역에 집중되어 있으며, 이들 해역의 해저열수광상에 대한 조사는 이미 국제 조사를 중심으로 약 15여년 동안 수행되어 온 바 있다. 이러한 연구 결과로 인해 넵튠사가 뉴질랜드에서 수행하는 해저열수광상 개발 노력은 비교적 분명하게 목표를 정하여 진행할 수 있는 바탕이 되었고, 탐사 역시 우선적으로 선정된 지역에 대한 해저열수광상의 생산량과 품위를 확인하는 것에 초점을 맞출 수 있었다.

경영과 목표설정 그리고 투자에 대한 과감성이라는 측면에서 넵튠사는 전문성과 뚜렷한 지향점을 가지고 있다는 점에서 주목할 만하다. 더구나, 현재 뉴질랜드를 중심으로 전개하고 있는 해저열수광상 탐사와 동시에 파푸아뉴기니와 일본을 비롯, 해저열수광상 탐사에서는 처음이라 할 수 있는 이태리 인근 해역 등의 상업적 개발 가능성이 있다고 판단되는 해역에 대한 탐사면허를 신청함으로써 사업투자 범위를 전 세계 해역으로 확장시키는 공격적 경영마인드 역시 엿볼 수 있다.

Table 5. Tenements of Neptune as at April 2008

Location	Total Tenements Granted		Tenement Applications Underway	
	Number	Total Area km ²	Number	Total Area km ²
New Zealand	3	63,587	3	84,890
FSM	1	200,000	0	0
PNG	11	13,721	0	0
Vanuatu	10	914	0	0
Italy	0	0	-*	1,483
N. Mariana Islands	0	0	-*	147,000
Japan	0	0	133	459
Palau	0	0	-*	200,000
Total	63	278,222	-*	233,832

*the exact number of tenements are unidentified

현재, 넵튠사의 가장 시급한 목표는 규모 있는 자본투자를 유치할 수 있는 충분한 가치의 해저열수광상을 확인하는 것이라 할 수 있다. 넵튠사의 해저열수광상 개발전략이 다양한 상업화 가능성과 탐사결과 제시를 통한 투자자 유치 및 재투자에 일정한 성과가 있었다는 점은 긍정적인 평가를 받으면서도, 향후 2010년으로 예상되는 노틸러스사의 해저열수광상 상업화에 대비하기 위해서는 여전히 규모적인 측면에서의 노력이 보다 요구되기 때문이다.

해저열수광상 개발 현황 : 넵튠사는 2002년 뉴질랜드 EEZ 해역에서 배타적 탐사권을 획득함으로써, 해저열수광상 탐사개발 활동을 적극적으로 추진할 수 있는 발판을 마련하였다. 넵튠사는 뉴질랜드에서 2002년(PL 39-195)과 2006년(PL 39-194, 39-205)에 3개의 해저열수광상 탐사권을 취득한 것 외에, 2007년에는 파푸아뉴기니, 마이크로네시아, 바누아투에서 탐사권을 추가로 확보하였다. 2008년 3월 현재 넵튠사가 확보한 탐사광구의 총 면적은 약 278,000 km²에 달한다. 이외에도 넵튠사는 뉴질랜드, 일본, 북마리아나제도, 팔라우, 이탈리아에 약 434,000 km² 탐사권을 신청해 놓은 상태이다. 이들 넵튠사의 해저열수광상 탐사면허 신청은 모두 넵튠사의 100% 출자에 의한 현지 자회사를 통하여 이루어지고 있으며, 이는 현지 개발을 위한 법적 문제와 세금문제 접근을 용이하게 하기 위한 조치로 사료된다.

해저열수광상 개발을 위한 넵튠사의 사업범위 확장 노력은 지중해와 태평양 지역에서 해저열수광상에 대한 배타적 탐사권리를 획득하기 위한 신청 및 신청 준비 등으로 구체화 되고 있다. 이 중 특히 이태리 해역을 대상으로 한 신청은 비교적 좁은 지중해의 수역에서 상업적 탐사를 시행하는 선구적 역할을 담당할 것으로 기대되며, 향후 넵튠사의 해저열수광상 개발 범위가 보다 확대되고 적극적 형태로 가시화 될 것임을 짐작할 수 있다. 또한 최근 노틸러스사가 해저열수광상의 2010년 상업생산을 위해 적극적으로 타 회사와의 계약을 통한 보다 정밀하고 안정된 탐사작업에 노력하고 있는 것과 마찬가지로, 넵튠사 역시 관련 영역의 국내 및 국외 전문가 그리고 관련 업체들과의 전략적인 파트너십 관계유지에도 심혈을 기울이고 있다.

넵튠사는 2005년 12월 뉴질랜드의 Kermadec 광구를 대상으로 세계 최초로 드릴링을 수행한 것을 시작으로 본격적인 탐사활동을 전개하였다. 2007년 5월에는 2010년 시험생산을 목표로 하고 있는 Kermadec 탐사광구(PL 39-195)를 대상으로 고해상도해저면 맵핑과 샘플링을 목표로 하는 제2차 탐사프로그램(Kermadec 07)

에 착수하였다. 2007년 7월에는 넵튠사가 뉴질랜드에서 확보한 또 다른 광구인 Coville과 Monowai를 대상으로 한 제3차 탐사프로그램 Coville-Monowai 07과 이탈리아의 탐사면허 신청지역을 대상으로 한 국제공동조사프로그램을 착수하였다. Kermadec 탐사프로그램에는 약 US\$ 5백만의 예산이 투입되었다. 이들 Kermadec 07과 Colville-Monowai 07 탐사프로그램은 2007년 8월에 모두 완료되었다. 넵튠사는 Kermadec 07 프로그램을 통해 2개의 새로운 비활동성 열수지역을 추가로 발견하였다.

넵튠사는 2007년 10월 해저열수광상의 상업개발에 사용될 수 있는 기존의 그리고 활용가능성이 있는 기술에 대한 공학적 분석 연구(a conceptual engineering scoping study)를 실시하였다. 이 공학적 분석연구에 대한 결과보고서는 기존의 해저채광 및 양광, 처리시스템 관련 장비와 기술을 확인·분석하여 이들의 유효성과 운영상의 신뢰성, 성능 및 환경적 문제 등을 평가한 결과를 다루게 된다. 넵튠사는 이 결과보고서에 기초하여 파일럿 테스트(pilot testing) 및 채광 예비타당성연구(mining pre-feasibility study)를 진행할 예정이다.

넵튠사는 2008년 현재 채광권 신청을 위하여 Kermadec 광구에 대한 기본적인 환경영향평가를 실시하고 있다. 또한 Trident Project라고 명명된 탐사활동을 뉴질랜드 탐사광구에 대하여 탐사 및 샘플링 전용선을 사용하여 수행할 계획이다.

민간기업의 투자전략 및 시사점

탐사 및 광구 확보 전략: 외국 민간기업들이 가지고 있는 가장 중요한 특징 중의 하나는 이 회사의 통제 하에 있는 탐사면허 지역의 규모이다. 대부분의 육상광업회사들은 비교적 작은 규모의 토지에 대해서만 광업권을 보유하고 있으며, 보통 타 광업권자의 광구와 인접해 있거나 타 광업권자의 광구에 의해 경계가 한정되어 있어 결과적으로 개발잠재력이 제한될 수밖에 없다. 하지만 노틸러스사의 사례에서 알 수 있는 바와 같이 해저에서의 열수광상 개발은 육상광업에서와는 달리 비교적 광범위한 해역에 탐사면허를 취득함으로써 향후 탐사 및 개발, 생산을 위한 엄청난 잠재력을 보유할 수 있게 된다.

노틸러스사는 유망한 해저광구를 선점하여 기득권(first mover's advantage)을 확보하려는 사업전략을 취하고 있다. 통가와 피지 EEZ에서의 탐사면허 신청도 이러한 전략의 일환이라고 할 수 있다. 노틸러스사는 통가와 피지 EEZ에서의 탐사면허 신청을 통해 기득권 확보 뿐만 아니라, 더 나아가 대외적으로는 투자자들에게 자신의 사업잠재력을 과시하는 효과도 동시에 거두고 있다. 노틸러스사는 통가와 피지에서 면허를 취득하게 되면 파푸아뉴기니에

서의 경험을 활용하여 공격적(aggressive)인 탐사를 시작할 예정이다.

그리고 이들 민간기업들은 각 해당 연안국이나 주변국에 현지 자회사를 설립하여 자원개발에 따른 법적 문제와 세금문제를 해결하려는 양상을 보이고 있다. 물론, 통가의 경우 자국의 법률상 통가 또는 영연방 국가의 기업만이 탐사면허를 신청할 수 있도록 하고 있다(Tonga Minerals Act, Section 13(1)).

기술적 제휴 및 협력 전략: 다른 분야에서와 마찬가지로 해저 열수광상 개발사업의 성공을 위해서도 자금과 기술·장비, 우수 인력의 확보가 중요한 관건이 될 수밖에 없다. 노틸러스사는 일단 자금 면에서는 상업개발을 준비하기 위한 충분한 자금을 확보한 상태이다. 노틸러스사는 새로 고용하는 임직원에게 스톡옵션 등 여러 인센티브를 제공함으로써 유능한 인재들을 적극적으로 유치하는 한편, 주요 광업단체, 전문공학자, 용역회사, 해저장비공급업체와 기술적 제휴 및 협력체제를 구축함으로써 해당 분야의 전문가와 기술 등을 효과적으로 활용하고 있다.

예를 들어, Barrick사는 새롭게 체결된 계약조건에 따라 노틸러스사에게 Placer Dome사의 전문가, 지적재산권, 노하우, 핵심 자문위원 등을 지원하기로 하였다. 이에 따라 노틸러스사는 독자적으로 Solwara 사업을 관리·운영할 수 있는 역량을 확보하게 되었다. Teck Cominco사와의 협력관계도 주목할 만하다. Teck Cominco사는 사모주식발행과는 별도로 노틸러스사와의 합작투자를 위해 옵션의 일부로서 US\$ 1,200만불(약 114억)을 투자하기로 약속하였다. 반면 Teck Cominco사는 2006년 10월 20일 이후 노틸러스사가 신청하여 취득한 면허지역(“New Tenements”)에서 5년동안 합작투자를 수행할 배타적 권리를 갖게 되었다. Teck Cominco사는 2년 내에 파푸아뉴기니의 비스마르크해, 파푸아뉴기니의 솔로몬해, 피지, 통가의 탐사면허 신청지역에서 각 신청지역에 대하여 US\$ 1,200만불을 투자함으로써 각각 40%의 이익을 회수할 수 있다. 노틸러스사는 이처럼 “New Tenements” 지역에 대하여 Teck Cominco사와 옵션 및 합작투자 합의를 체결함으로써 Teck Cominco사에게는 새로운 사업지역을 개척할 수 기회를 주는 반면, 노틸러스사는 자신이 100%의 권리를 보유한 Solwara 1 사업에 초점을 맞출 수 있게 되었다.

넵튠사 역시 관련 영역의 국내 및 국외 전문가 그리고 관련 업체들과의 전략적인 파트너쉽 관계유지에도 심혈을 기울이고 있다. 넵튠사는 향후 뉴질랜드 탐사광구에서의 탐사 및 샘플링 전용선을 공급하게 될 협력업체들은 넵튠사가 확보한 탐사광구에 도급관리 형식으로 참여하는 대신, 합작투자 형식으로 Trident Project에 자금을 조달하게 된다.

Table 6. Cooperation with Partners of Nautilus

Partner	Cooperation field
Placer Dome	drilling and sampling at Solwara 1 Prospect
ALS Laboratory, ALS Chemex	drilling and grab, bulk sample analysis
Canyon Offshore International Co.	vessel, ROV and drilling equipment provision
Jan De Nul	mining vessel construction and operation
Technip	Pre Front End Engineering Design study
Soil Machine Dynamics	ROV SMS mining machines provision
Technip USA Inc	rising and lifting system provision
Golder Associates	resource estimate for Solwara 1 Prospect

우리나라의 전략방안

해저열수광상에 대한 연구개발 노력은 금속광물의 대외의존도가 절대적인 우리나라에게 국제 금속가격 변동과 육상광물의 고갈에 대비한 국가 자원수급의 안정적 기반 확보라는 일차적 목표를 갖는다(2000년 7월 국가과학기술위원회 의결을 거쳐 확정된 「심해저 광물자원 개발사업 추진계획」). 동시에 해저열수광상 개발을 통한 전략금속의 공급원 다변화와 관련 핵심기술 확보는 우리나라의 관할 외측해역에 대한 개발 역량의 제고를 통한 국가경쟁력 확보에 직접적으로 기여할 것이다.

앞에서 살펴본 바와 같이 중국, 일본은 최근 활발하게 해저열수광상 자원의 연구개발에 주력하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 노틸러스사와 넵튠사와 같은 외국 민간기업들은 2010년 해저열수광상 상업생산을 목표로 사업추진에 박차를 가하고 있다. 이들 민간기업들의 2010년 해저열수광상에 대한 상업개발의 착수 및 개발성공은 해저광물자원개발에 있어서 획기적인 전환점을 마련할 것으로 기대하고 있다.

뿐만 아니라, 경제적 이익을 추구하는 세계 각국 민간기업들의 상업생산 기술개발 및 투자 동향은 우리나라 해저열수광상 자원개발 정책의 방향과 기술투자의 모델로 삼을 수 있다는 점에서 중요한 의미를 가진다. 예를 들어, 파푸아뉴기니와 뉴질랜드 등지에서 현재 개발권 신청을 준비하고 있는 노틸러스사와 넵튠사의 경우 해저열수광상 개발을 위하여 사용되는 개발시스템 및 장비, 소요비용, 업체 선정 및 계약방식, 정밀탐사 및 자원량 평가 수행방식, 제휴업체와의 협력방식, 기타 개발권 신청에 필요한 제반 행정절차 등을 면밀히 관찰 분석할 필요가 있다.

세계 도처에서 해저열수광상 개발을 위한 일련의 기술개발 및 사업추진 현황 분석은 우리나라의 상업생산에 대비한 효과적인 추진방안을 모색하고, 연구자나 기술자의 연구 수행에 있어 제안된 연구개발비를 효율적으로 사용할 수 있도록 기본적인 정책결정의 판단기준과 방향성을 제시하는 역할을 수행할 수 있으리라 기대된다.

해저열수광상개발을 위해 우리가 내부적으로 해결하여야 할 선결과제를 보면 다음과 같다.

첫째, 소관부처의 일원화 및 법제도 정비이다. 국토해양부가 추진하고 있는 연구사업을 자원개발사업으로 전환하기 위한 주무부처 일원화 문제를 신중하게 검토하여야 한다. 현행 해외자원개발사업법상 광물자원 개발의 주무부처는 지식경제부이며, 심해저 망간단괴 개발사업과 해저열수광상, 망간각 사업은 국토해양부로 되어 있다. 현재 추진되고 있는 통가 EEZ 수역에서의 해저열수광상 개발이 지속적으로 추진되기 위해서는 소관부처 일원화 문제와 동시에 법적 기반을 갖추기 위한 검토작업이 함께 추진되어야 할 것이다. 또한 상업생산이 가능할 수 있도록 상업생산 기반을 구축하고 민간기업의 참여를 유도하는 한편 해저열수광상 개발을 지원 하는 법제도를 정비할 필요가 있다.

둘째, 해저열수광상 자원개발을 위한 사업주체를 결정하여야 한다. 사업주체로는 정부주도, 민간주도, 정부와 민간의 혼합형식을 고려할 수 있으며, 공사와 협의회, 사업단 등의 전담기구 설립 역시 검토할 만하다. 현지법인을 효율적으로 관리하고, 탐사면허상의 면허조건을 충실히 이행하는 것은 개발권 확보를 위해 무엇보다도 중요하다. 현재 해저열수광상자원개발사업은 국가연구개발사업의 일환으로 추진되고 있으나, 개발단계로 전환하는 과정에서는

국가연구개발사업으로만 수행하기에는 한계가 있다. 현지법인을 운영·관리하고 개발권을 신청하는 일련의 활동에는 전문적인 인력과 재원 등이 뒷받침 되어야만 하기 때문이다. 이점에서 현지법인 관리, 광구추가 확보, 상업개발회사 설립 준비 등 해저광업분야의 신속한 대응 및 효율적 사업추진을 위해서는 민간기업이 참여하는 전담조직을 설치하여 운영하는 것이 바람직하다.

셋째, 해저열수광상의 상업적 개발에 필요한 적절한 예산을 지속적으로 투입하여야 할 것이다. 즉, 우리나라가 해저열수광상개발 대상해역으로 선정한 통가해역은 정밀 탐사결과에 따라서는 상업적 개발 가능성이 충분히 기대될 수 있기에 보다 상세한 데이터 수집과 분석을 위해 체계적·지속적인 예산 투입이 필요하다. 기술·장비와 재원확보는 해저열수광상 개발을 위한 가장 기초적이면서도 가장 중요한 부분이다. 자원 개발을 위한 명확한 규모를 예측하고, 단계별 제작비용과 기간 예측을 통한 상업개발을 추진하여야 하며, 이를 위한 국가적 차원의 재원확보 방안이 추가적으로 강구되어야 한다.

넷째, 중장기 계획의 수립이 필요하다. 현재로서는 탐사권을 확보한 통가해역에 대하여 면허기간, 광구포기, 탐사비용 등을 고려한 정밀탐사 계획을 수립·실행하고 광석품위 및 자원량 평가를 통해 유망 개발광구를 선정하여 개발권을 취득하는데 역량을 집중해야 한다. 한편, 중장기적으로는 탐사권을 이미 확보한 지역 외에 다른 남서태평양 국가에서도 탐사권을 추가로 확보하는 전략도 동시에 추진해 나가야 할 것이다. 향후에는 남서태평양 도서국에서의 해저열수광상 탐사능력과 개발역량을 기초로 국제해저기구 관할 하의 심해저 지역으로 연구범위를 확대해 나갈 필요도 있다.

참고문헌

- 郭世勤, 1992. 太平洋中部多金屬結核礦物學. 海洋出版社, 北京, pp. 16-20.
- 郭世勤, 1994. 多金屬結核和沈積物的地球化學研究. 地質出版社, 北京, p. 11.
- 金建才, 1995. 海底礦物叢書. 中國大洋礦山資源研究開發協會, pp. 1-57.
- 凌勝, 1996. 國外探海多金屬結核試采活動的啓示. 海洋出版社, 北京, pp. 1-5.
- 馮雅麗, 李浩然, 2004. 深海礦山資源開發與利用. 海洋出版社, 北京, pp. 30-34.
- 박성욱, 이용희, 권문상, 2003. 해저열수광상 및 망간각 자원 개발을 위한 국제적 논의에 대한 고찰. *Ocean and Polar Research*, 25: 227-235.
- 吳世迎, 2000. 世界海底熱液硫化物資源. 海洋出版社, 北京, pp. 291-318.
- 王明和, 2000. 大洋富結核礦床開採條件及其礦區圈定參數的確定 國際海底開發信息. pp. 1-6.
- 이경용, 박승현, 1999. 심해저의 광물 온천: 열수광상. In : 석봉출, 이희일, 지구환경 변화사와 해저자원. 한국해양연구소, 안산, 해양과학총서 5, pp. 104-109.
- 周懷陽, 武光海, 2000. 富結核地質經濟評價中應注意的個因素. 國際海底開發信息, pp. 3-5.
- 중국해양협회, 2007. 11·5 심해저조사 및 연구과제 인선에 관한 통지서(關於大洋‘十一五’調查與研究類項目首席科學家和責任科

- 學家選的通知)(2007.4.2).
- 中國大洋協會辦公室, 1999. 國際海底管理局繼續審議〈區域內多金屬結核探礦和勘探規章〉. 國際海底開發信息, pp. 4-5.
- 한국해양연구소, 1999. 해저 열수광화작용의 지화학적 연구. BSPE98712-00-1162-7, 271 pp.
- 한국해양연구소, 2000. 해저 열수광화작용의 지화학적 연구 II. BSPE 99758-00-1240-7, 242 pp.
- 해양수산부, 2002. 2001 심해저광물자원 탐사보고서 III. 심해저 자원개발 제도분석. CRPM088-00-1387-5, p. 137.
- Clark, Allen L., 1999. Marine Mineral Policy Considerations for the Pacific Island Nations's EEZs. In : *Offshore Mineral Policy Workshop Madang, PNG Workshop Report*, PNG, p. 79.
- Herzig, P.M., S.Petersen, 2002. Polymetallic Massive Sulphide Deposit at the Modern Seafloor and their Resource Potential. In: *Polymetallic Massive Sulphide and Cobalt-Rich Ferromanganese crusts: Status and Prospects*, ISA Technical Study No.2, ISA, p. 18.
- International Business Publications, 2006. Fiji: Mineral and Mining Industry Investment and Business Guide, Washington D.C., 352 pp.
- Nautilus Minerals Inc., 2006. Consolidated Financial Statements. 22 pp. <http://www.comra.org/haidi/2007/070323.htm>
http://news.xinhuanet.com/st/2006-03/17/content_4312904.htm
<http://www.nautilusminerals.com>
-
- 2008년 2월 11일 원고접수
 2008년 6월 19일 수정본 채택
 담당편집위원: 이경용