

Guest Editorial

심해저 망간단괴 개발의 현황과 미래

지상범<sup>1</sup> · 홍섭<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터  
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787  
<sup>2</sup>한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소  
(305-343) 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 32

Development of Polymetallic Nodules in the NE Equatorial Pacific:  
Past, Present and Future

Sang Bum Chi<sup>1</sup> and Sup Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Deep-sea and Seabed Mineral Resources Research Center, KIOST  
Ansan 426-744, Korea

<sup>2</sup>Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KIOST  
Daejeon 305-343, Korea

**Abstract :** In early 1990s, the Korean government has launched a deep-sea research program to secure the stable long-term supply of strategic metallic minerals including Cr, Cu and Ni. Through the pioneering surveys, Korea registered 150,000 km<sup>2</sup> of Mn-nodule field in the Clarion-Clipperton area, the NE equatorial Pacific to the international sea-bed authority (ISA) in 1994. Following the ISA exploration code, the final exclusive exploration area of 75,000 km<sup>2</sup> was assigned in 2002, based on results of eight-year researches of chemico-physical properties of nodules, bottom profiles and sediment properties. Since that time, environmental studies, mining technical developments including robot miner and lifting system and establishment of smelting systems were accompanied with the detailed geophysical studies to decipher the priori mining area until 2009. Major points of the recent Korea Mn-nodule program are deployed on a commercial scale until 2015. In order to meet the goals, we developed a 1/5 scaled robot miner compared to commercial one in 2012 and performed a mining test at the water depth of 1,370 m in 2013. In addition, detailed 25,000 scaled mining maps in the priori area, which can provide operation roots of the miner, will be prepared and an environmental-friendly mining strategy will be pursued based on the environmental impact test and environmental monitoring.

**Key words :** Mn-nodule, C-C zone, KODOS program, robot miner, mining test

1. 망간단괴 소개

망간단괴(manganese nodule)는 망간, 철, 니켈, 구리, 코발트, 몰리브덴, 희토류 등과 같이 산업발전에 근간이 되는 40여종의 다양한 금속광물들을 포함하고 있어 다금속

단괴(polymetallic nodule)로 명명되기도 한다. 일반적으로 대륙붕, 대륙사면, 심해저 평원뿐만 아니라 심지어 호수에서도 망간단괴가 발견되지만 대부분 수심 4,000 m 이상의 심해저 평원에 분포하고 있다. 현재까지 알려진 바에 의하면 북동 태평양 클라리온-클리퍼톤 균열대(Clarion-Clipperton Fracture Zone, C-C 지역), 남동태평양 페루분

지, 그리고 북인도양 중앙 심해평원에 많은 양의 망간단괴가 분포하고 있다. 이들 중 망간단괴 분포량(혹은 매장량)과 금속함량 관점에서 자원 개발경제성이 높게 평가되는 지역이 C-C 지역 심해저 평원에 집중되어 있다. 특히 니켈, 코발트, 망간은 육상광상 전체에 부존된 양보다 2~6 배 많은 것으로 알려져 있으며, 일부 C-C 지역에서는 망간단괴가 해저면의 70% 이상을 피복하기도 한다.

### 2. 심해저자원개발의 국제연혁

심해저 망간단괴는 1970~1980년대에 미국, 독일, 프랑스, 일본 등 해양선진국을 중심으로 미래 금속광물자원 확보 차원에서 많은 연구가 이루어졌다. 미국은 1982년 채택된 유엔해양법협약의 서명 및 비준을 거부하고 유엔해양법협약 발효(1994년)전인 1984년 미국 상무성 소속의 미국해양대기관리처(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)를 통해 국내법에 따라 4개의 다국적 민간 채광 콘소시엄에 C-C 지역에서의 10년간의 망간단괴 탐사면허를 발급하였다. 각각의 콘소시엄 참여국은 다음과 같다. OMCO(Ocean Minerals Company):

미국, 네덜란드 참여), OMA(Ocean Mining Associates): 미국, 벨기에, 이탈리아 참여, OMI(Ocean Management Inc.): 미국, 일본, 캐나다, 독일 참여, KNOC(Kennecott Consortium): 미국, 일본, 영국, 캐나다 참여. 이후 1987년에는 인도, 프랑스, 일본, 러시아, 1991년에는 중국과 IOM(동구권 정부연합), 그리고 1994년에는 우리나라가 세계에서 7번째로 심해저 망간단괴 광구(15만 km<sup>2</sup>)를 등록하고, 2002년 최종적으로 7만 5천 km<sup>2</sup>의 단독광구를 획득하였다. 2005년에는 독일이 광구를 등록하였다(Fig. 1).

### 3. 최근 국제동향

우리나라 심해저 광물자원 개발사업의 착수시점인 1994년에는 국제해저기구(International Seabed Authority, ISA)주관으로 심해저 광물자원을 개발하기 위한 탐사와 관련된 국제규범 제정을 위해 논의하던 시기였다. 이들 해저광물자원 개발관련 탐사규칙은 광종별로 2000년에 망간단괴, 2010년에 해저열수광상, 그리고 2012년에 망간각에 대해 제정되었으며, 현재는 상업생산을 위한 개발규칙

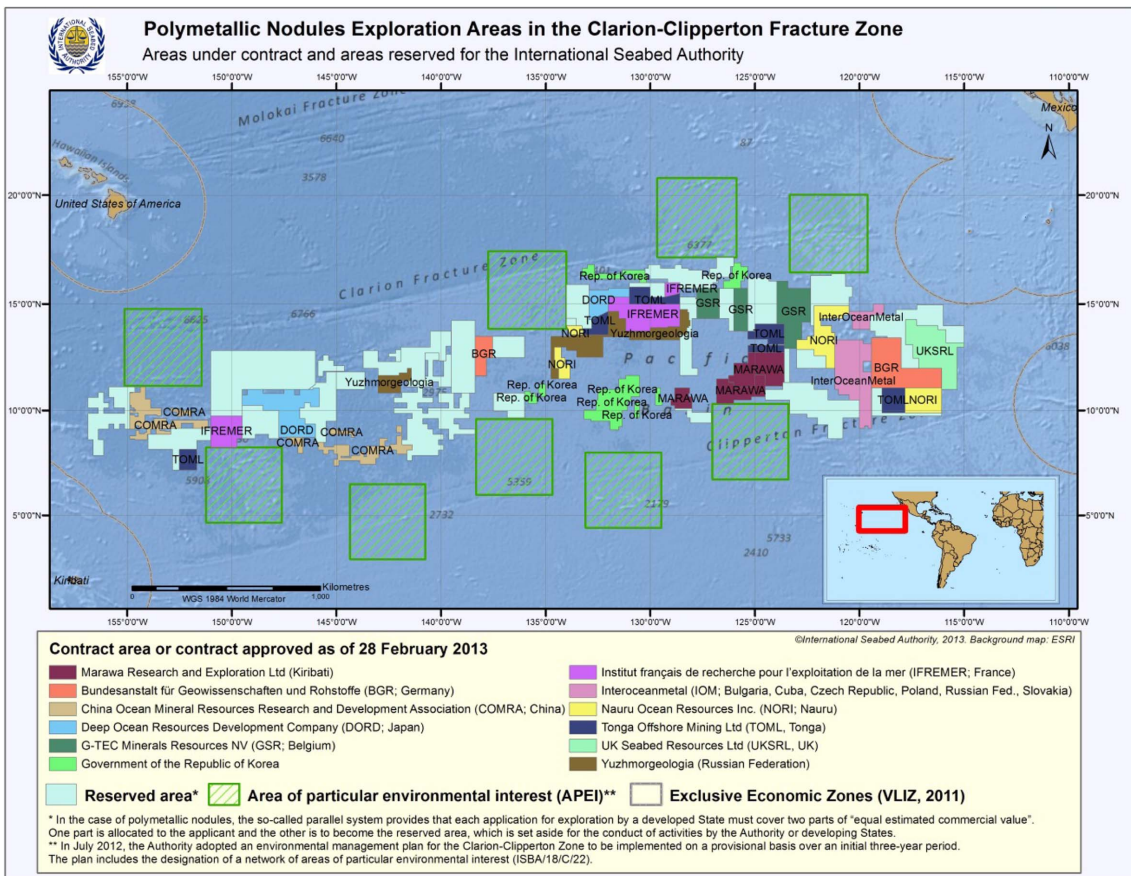


Fig. 1. Polymetallic nodules exploration areas in the Clarion-Clipperton Fracture Zone

Table 1. Contracts for exploration of polymetallic nodules

Contractor	Date of entry into force of contract	Sponsoring State	General location of the exploration area under contract	Date of expiry of contract
Inter ocean metal Joint Organization	29 Mar 2001	Bulgaria, Cuba, Czech Republic, Poland, Russian Federation and Slovakia	Clarion-Clipperton Fracture Zone	28 Mar 2016
Yuzhmoregeologiya	29 Mar 2001	Russian Federation	Clarion-Clipperton Fracture Zone	28 Mar 2016
Government of the Republic of Korea	27 Apr 2001		Clarion-Clipperton Fracture Zone	26 Apr 2016
China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	22 May 2001	China	Clarion-Clipperton Fracture Zone	21 May 2016
Deep Ocean Resources Development Co. Ltd.	20 Jun 2001	Japan	Clarion-Clipperton Fracture Zone	19 Jun 2016
Institut français de recherché pour l'exploitation de la mer	20 Jun 2001	France	Clarion-Clipperton Fracture Zone	19 Jun 2016
Government of India	25 Mar 2002		Indian Ocean	24 Mar 2017
Federal Institute for Geosciences and Natural Resources of Germany	19 Jul 2006	Germany	Clarion-Clipperton Fracture Zone	18 Jul 2021
Nauru Ocean Resources Inc.	22 Jul 2011	Nauru	Clarion-Clipperton Fracture Zone	21 Jul 2026
Tonga Offshore Mining Limited	11 Jan 2012	Tonga	Clarion-Clipperton Fracture Zone	10 Jan 2027
Marawa Research and Exploration Ltd.	To be signed	Kiribati	Clarion-Clipperton Fracture Zone	
G-TEC Sea Mineral Resources NV	14 Jan 2013	Belgium	Clarion-Clipperton Fracture Zone	13 Jan 2028
UK Seabed Resources Ltd.	8 Feb 2013	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	Clarion-Clipperton Fracture Zone	7 Feb 2028

제정 단계로서 2016년 망간단괴 상업개발권(채광면허) 발급예정이다.

심해저 망간단괴의 상업화시기가 가시화됨에 따라 사업의 추진 주체는 정부주도에서 민간기업 중심으로 전환되어 2011년 이후 8개 광구는 모두 영국, 캐나다, 벨기에 3개국의 민간기업이 주도하고 있다(Table 1, Fig. 1). 미국은 국내법에 따른 심해저 광물자원개발을 주장하고 국제해양법에 비준하지 않았으나, 민간기업인 Lockheed Martin사는 망간단괴 상업개발 시기가 가까워짐에 따라 개발의 주도권을 갖기 위해 해양법에 비준한 영국에 자회사(UK Seabed Mineral Resources사)를 설립하고 국제규범에 따라 영국을 보증국으로 하여 2개의 광구권을 획득하였다. 또한 UK Seabed Mineral Resources사가 지분참여하고 있는 싱가포르 민간기업(Ocean Mineral Singapore Pte. Ltd.)을 통해 추가 망간단괴 광구권을 확보하였다. 항공우주산

업과 해양자원 및 에너지개발에 역량을 집중하고 있는 Lockheed Martin사의 전략적인 광구 확보와 더불어 그 자회사인 UK Seabed Mineral Resources사는 2020년 망간단괴 상업생산을 목표로 하고 있는 상황이다. 이밖에도 캐나다의 민간기업인 노틸러스(Nautilus)사는 나우루, 통가, 키리바티에 각각 자회사를 설립하여 3개의 망간단괴 광구권을, 벨기에 G-Tec Sea Minerals Resource NV사는 독자적인 광구권뿐만 아니라 룩아일랜드와 함께 1개의 추가 광구권을 확보한 상태이다.

#### 4. 우리나라의 심해저 자원개발 연혁 및 성과

우리나라는 1990년대 초부터 탐사를 시작하여 1994년에 동태평양 C-C 지역에 광구를 확보하였으며, 2002년 8월에 유엔 산하기구인 ISA로부터 750,000 km<sup>2</sup>을 독점탐

사광구로 승인 받았다. 현재, 우리나라는 해양수산부의 지원 하에 한국해양과학기술원을 중심으로 망간단괴 상업생산에 필요한 상용화기반 기술개발을 목표로 태평양 심해저 광물자원 개발사업을 수행하고 있다. 사업에서는 채광 시스템 운영에 필요한 채광도 제작을 수행하는 정밀탐사 분야, 개발에 따른 환경변화의 최소화를 위한 환경연구 분야, 수심 5,000 m 해저에 산재된 망간단괴를 효율적, 친환경적으로 선상으로 끌어올리는 기술개발을 위한 채광시스템 연구분야, 망간단괴에 들어있는 주요금속을 효율적으로 추출하기 위한 제련시스템 연구분야, 개발을 위해 국제규범 및 국내법 연구 및 산업화를 위한 경제성 연구분야, 탐사장비 성능의 고도화를 위한 탐사기술개발 분야 등으로 나뉘어 연구를 진행하고 있다.

우리나라 심해저 자원개발 연구개발사업의 역사는 크게 5단계로 구분할 수 있다.

1) 기술습득 단계(1982~1991년): 최초로 정부차원의 심해저 광물자원 개발을 검토하고 미국립지질조사소(USGS)와의 국제공동연구 프로그램을 통해 심해저 광물자원 탐사에 필요한 기술을 습득하는 시기였다.

2) 진입 단계(1992~1994년): 망간단괴 광구등록을 위한 노력이 이루어졌다. 정부차원에서 심해저 광물자원 개발 사업을 본격적으로 추진하기로 결정하고 종합해양조사선 온누리호(1,422톤)가 건조되어 태평양 C-C 지역에서 망간단괴 광역조사 수행(130만 km<sup>2</sup>)한 결과를 가지고 1994년 세계에서 7번째로 유엔에 C-C 지역의 망간단괴 개발광구(150,000 km<sup>2</sup>)를 등록하였다.

3) 도약 단계(1995~2002년): 과학적 연구 사업이 산업화로 전환되는 기반을 마련하는 시기였다. 2000년 국내에서는 제5차 국가과학기술위원회 『상용화기반구축 추진계획』이 의결되었으며, 국제적으로는 ISA 광업규칙(Mining Code)이 제정되었으며, 2001년 ISA와 대한민국 탐사·개발 계약(2001~2015년)을 맺게 됨으로써 광구에 대한 배타적인 권리와 의무를 명확히 하였다. 국제해저기구 의무이행사항에 근거하여 망간단괴 광구등록 이후 8년간의 탐사를 수행하고 그 결과에 따라 2002년 최종독점탐사광구(75,000 km<sup>2</sup>)를 확보하였다.

4) 성장 단계(2003~2010년): 망간단괴의 상업개발에 필요한 채광기술연구, 정밀탐사 및 환경연구 수행에 중점을 두었다. 2009년과 2010년에는 망간단괴 근해역 시험채광장비(상용 1/20규모, 1일 채광 250톤 규모)를 독자 개발하고 동해 수심 100 m 근해역 채광시험을 수행하고 망간단괴 제련 실용화기술(200kg/일)도 수행하였다. 한편 2009년 ISA에서는 그간의 우리나라의 심해저 활동 성과를 인정받아 이사회 B 그룹에 진입하여 국익을 대변할 수 있는 유리한 지위를 확보하였다(A 그룹: 심해저 채취광물 대량소비국/수입국4개국, B 그룹: 심해저활동 8대투자국

중 4개국, C 그룹: 심해저광물 주요수출국 4개국, D 그룹: 개도국 6개국, E 그룹: 지리적 배분에 따라 18개국으로 구성된다. 1994년 이행협정 제3절 15).

5) 상용화기반 성과도출 단계(2011~2015년): 20년간 연구개발사업을 수행한 성과를 입증하는 단계로서 2012년에는 망간단괴 시험채광장비(상용 1/5 규모, 1,000톤/일 생산규모)를 독자개발하여 제작을 완료하고 2013년에는 수심 1,370 m 심해역에서 망간단괴 채광로봇 성능 실증시험을 성공적으로 완료하였으며, 제련분야에서는 2톤/일 용량의 망간단괴 건식제련 설비를 완성하고 실증시험을 수행하는 등 망간단괴 상업개발에 필요한 핵심기술을 규모 확대 시험을 통해 실증하였다.

## 5. 기대 효과

연구결과에 따르면 C-C 지역 우리나라 광구에는 5억6천만톤의 망간단괴가 부존되어 있으며, 연간 300만톤 규모의 망간단괴 상업개발 시 100년간 총 200조원 가치의 금속생산이 창출될 것으로 예상하고 있다. 이는 우리나라의 지속성장을 가정할 때, 2023년부터 향후 약 100년간 우리나라가 사용하는 구리의 1.7%, 니켈의 15.5%, 코발트의 46.1%, 망간의 38.4%를 심해저 광구에서 자급할 수 있는 규모이다. 이 밖에도 단괴 내에 함유된 희토류의 추출이 가능해질 경우, 희토류 확보도 가능하다. 채광분야의 국가위상제고 및 과학기술지식 활용에 대한 정성적 효과에 대하여 평균 약 318.6억원/년의 경제적 편익이 발생할 것으로 추정되며, 핵심기술을 적용한 118억 달러규모의 개발장비 수출이 기대된다. 이는 상업생산 단계의 세계시장에서 평균 28%의 심해저 광업장비·설비부분의 시장점유율을 예상하고 있다. 또한 상업생산 총 개발비용(4조 4천억원)의 약 2.5배 생산·부가가치 유발효과(10조 8천억원)와 3만7천명의 일자리가 창출될 것으로 기대하고 있다.

## 6. 개발 전망

전 세계적인 육상광물자원 고갈현상은 점차 심각한 상황에 직면하여 심해저광업은 2020년대에 시작되어 2030년대에 가장 각광받을 신산업으로 인식되고 있다. 왜냐하면 육상광상의 경우, 고품위 광상은 이미 고갈되어 점차 저품위 광상이 개발되므로 생산비용은 증가하고 있으며, 육상광상 개발에 따른 공해방지 및 복구를 위한 투자비용의 증가로 육상광상 개발비용은 지속적으로 상승하고 있다. 심해저 광물자원의 경우, 1개 광상에서 최소 4개 이상의 금속자원을 생산할 수 있으므로 비용대비 효율성이 높을 뿐만 아니라 광물의 품위도 대체로 균일한 장점이

있으므로 심해저 광업은 육상광업에 비하여 2023년을 전후로 하여 경쟁력을 확보할 것으로 알려져 있다. 또한 최근 수년간 국내외에서 분석된 망간단괴 상업개발의 내부 수익율은 약 11~15%로 경제성이 있는 것으로 알려져 있다. 제 20차 ISA 연차총회(2014년) 결과, 외국 민간기업들(영국, 캐나다, 벨기에)은 심해저 망간단괴 개발을 위해 2019년까지 상업생산 준비를 완료하고 2020년부터 상업생산을 예정하고 있으며, ISA는 2016년 개발권을 발급할 예정이다.

## 7. 향후 계획

연구개발사업에서는 2015년 통합채광 성능 실증시험, 제련플랜트 기본설계 등 상용화기반을 마련하고 사업의 경제성 평가, 광구의 개발도 작성 및 환경연구 등을 통해 개발권 획득하여 산업화 준비를 완수한 예정이다. 이후 ISA에서 2016년 제정을 예정하고 있는 공해상 망간단괴 개발규칙에 따라 개발에 필요한 보완 연구와 정부와 민간 기업이 필요로 하는 산업화 준비를 진행할 계획이다.

## 8. 결 론

2020년경에 개시될 공해상 심해저 광업은 전 세계적으로 초기단계이므로 우리나라는 해양수산부의 지속적인 지원으로 심해저 광구 확보 및 세계최초로 망간단괴 상용화기반 개발기술을 바탕으로 정부의 지원이 지속된다면 우주항공분야와는 달리 글로벌 리딩 국가로 도약할 수 있는 매우 중요한 신산업창출 분야로 판단된다. 또한 심해저광업은 세계적으로 2030년대에 가장 각광 받을 신산업으로 인식하고 2010년 이후 본격적인 연구와 투자가 이루어지

고 있다. 우리나라의 대기업에서는 광업의 특성상 장기적으로 대규모 투자가 필요하여 외면하고 있지만 장기적 안목에서 심해저 광업의 중요성과 개발의 가치를 재인식하고 정부의 노력에 부응하여 적극적인 참여가 이루어진다면 현 보유기술을 바탕으로 심해광업이라는 신산업을 선도적으로 창출하여 국가 산업발전에 큰 역할을 할 것으로 기대한다.

지금까지 심해저 광물자원개발 사업을 통해 350여편의 연구논문이 산출되었다. 금번 특별호에서는 “심해저 망간단괴 개발의 현황과 미래” 라는 주제로 1) 망간단괴 탐사 및 자원량평가 분야, 2) C-C 해역 심해환경분야, 3) 망간단괴 채광분야, 4) 주요 함유금속의 가격동향에 대한 최근 연구결과를 수록하여 향후 연구추진에 도움이 되고자 한다.

## 사 사

심해저 광업이라는 신해양산업 창출을 위한 연구개발의 토대를 마련하고 심해저 광물자원개발 특별호가 발간되기까지는 많은 분들의 지원과 도움이 있었다. 심해저 광물자원개발이 국가연구개발사업으로서 ‘심해저 망간단괴 상용화기반 기술개발’이라는 목표달성을 위해 애써주신 해양수산부 관계관, 참여연구원과 온누리호 승무원분들께 깊이 감사드린다. 그리고 심해저광물자원개발협의회에 참여하고 있는 민간기업 회원사의 관심과 격려에 감사드린다. 바쁜 일정 속에서도 특별호 발간을 위해 논문을 투고해 주신 저자와 심사위원께도 깊이 감사드린다.

본 연구는 해양수산부 R&D 사업인 “태평양 심해저 광물자원개발(PM57950)”의 지원에 의해 수행되었습니다.