

미래 국가 성장 동력원: 심해저 광물자원개발

박 정 기*

한국해양연구원 심해저자원연구부

Future Natural Resource for Sustainable National Economic Growth: Development of Deep-sea mineral resources

CHEONG KEE PARK*

Deep-sea & Marine Georesources Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansa, 425-600, Korea

서 론

1982년 유엔해양법 협약이후, 해양을 바라보는 국제사회는 두 가지 패러다임이 설정되었다. 하나는 화석연료 개발이후에 해양이 갖고 있는 차세대자원에 대한 무한경쟁의 시대가 도래하였다는 선언이며, 또 하나는 고갈되어 가는 육상자원의 대체수단으로서 인류공영의 유산 (Heritage of Mankind)인 공해상의 자원을 실용화하기 위한 새로운 해양질서와 규칙이 절실히 요구되는 시점에 이르렀다는 것이다. 그 이후, 1994년 유엔해양법이 발효되면서 심해저개발은 기술과 자본이 집약된 새로운 개념의 해양개발영역으로 인식되어 왔다.

심해저광물자원개발은 70~80년대에 미국, 프랑스, 일본 등 선진국을 중심으로 미래자원확보 차원에서 많은 연구가 이루어졌다. 일본의 경우 70년대부터 정부주도하에 망간단괴 자원에 대한 탐사를 통해 84년 유엔에 광구를 등록하였으며, 19개 민간기업 콘소시엄을 구성하여 독자적인 기술개발을 추진함과 동시에 8대 대형 국책과제로 선정(1981~1997)되어 1997년 2,200 m 실험역에서 채광시스템 성능시험을 수행하였다(박 등, 2005). 미국은 80년대 초부터 민간기업 중심으로 국제 콘소시엄을 구성하여 태평양에 광구를 확보하였으며, 환경충격시험(BIE: Benthic Impact Experiment)을 수심 4,900 m에서 수행하였다(ISOPE, 2002). 또한, 수심 5,000m 실험역에서 파일럿 채광시험을 시도하였다. 이외에도 프랑스, 독일, 러시아 등은 탐사, 환경, 제련분야 등에 상용화를 위한 의미 있는 기술개발을 집중적으로 추진하여 왔다(Charles *et al.*, 1990; Kotlinski, 1995; Das, 2001). 선진국의 70~80년대 연구개발은 심해저 광업(deep-sea mining)이라는 새로운 해양개발영역을 개척한 것으로 심해저개발의 이론적 개념과 실험적 규모의 시스템을 실험역에 적용하였다는데 의의가 있다. 그러나 자원개발의 궁극적 목표인 수익성 관점에서 선진국은 1세대 기술개발이후 자원의 가격경제성을 모니터링하는 전략을 취하여 왔다.

최근에 와서 국제사회의 여러 상황은 심해저자원개발이 새롭게 조명받을 수 밖에 없는 상황으로 급변하고 있다. 자원민족주의가 우려될만한 자원확보 경쟁과 중국, 인도로 대표되는 신흥 산업국

의 등장 및 금속광물가격의 급등현상은 그 동안 경제성에 많은 의문을 갖던 심해저 자원개발이 새롭게 주목받는 요인이 되었다(박 등, 2005). 또한, 국제해저기구에서 2000년 망간단괴 자원에 대한 심해저 광업규칙 (ISBA/6/A/18)과 환경영향평가지침 (ISBA/6/LTC/CRP.2)이 제정됨에 따라 상업화를 목표로하는 실질적 추진근거가 마련됨으로서 선진국을 중심으로 한 1세대 심해저 기술개발이후, 심해저 광물자원 개발이 상용화될 수 있는 요인들을 갖추는 계기가 되었다(박 등, 2005).

이러한 변화는 광물자원의 장기안정적인 공급원 확보를 위해 심해저자원개발을 국가주요 추진전략으로 선정한 중국, 인도를 중심으로 한 심해저광물자원개발의 후발국들이 대규모 기술개발을 추진하는 계기가 되었으며, 망간단괴 심해저 광업규칙 제정이후에 국제해저기구에서는 망간각, 해저열수광상에 대한 광업규칙을 제정하려는 움직임이 활발하게 이루어지고 있다. 인도의 경우는 2000년에 수심 500미터에서 채광시스템 실증시험을 추진하였으며, 중국은 140 m 호수에서 상업생산 1/10규모의 채광시험을 수행한 이후, 남중국해 1,000 m 수심의 채광시험을 위한 준비에 박차를 가하고 있다(Yang and Wang 1997; Muthunayagam and Das 1999; Das, 2001; Yang and Tang 2003). 이와 같은 기술개발을 위해 인도는 지구과학부를 신설하여 집중적인 개발을 유도하고 있으며, 중국은 국토자원부와 국가해양국을 중심으로 국가중장기 과학 및 기술발전계획요강(2006-2020)과 국토자원 십일오 계획요강(2006-2010)을 통해 국가의 장기적 이익과 직결되는 심해저광물자원의 상용화를 위한 기술개발에 집중하는 국가정책을 설정하였다. 선진국과 경쟁국의 심해저 광물자원개발 최근 동향변화는 니켈, 구리, 코발트, 망간 등 산업의 쌀이라고 일컬어지는 광물자원을 전량 수입할 수 밖에 없는 상황을 맞이하는 우리에게 있어서 장기안정적 공급원 확보 및 상용화 기술 조기 구축이 시급함을 시사하고 있다.

1990년대 초반부터 본격적으로 심해저 광물자원개발에 참여한 우리나라는 심해저기술개발의 후발국임에도 불구하고 1994년 우리나라 면적의 약 1.5배에 해당하는 망간단괴 광구(15만 km²)를 유엔에 등록하고 선행투자가 의무사항을 8년간 수행한 결과, 국제해저기구를 통하여 우리나라 면적의 3/4에 달하는 7.5만 km²의 독점적 개발광구를 확정하였다(해양수산부, 2003). 이와 동시에 최

*Corresponding author: ckpark@kordi.re.kr

적채광지역 선정, 정밀 자원량평가기술, 환경영향평가기술과 채광/제련분야에 대한 상용화 기술개발을 통하여 2007년 양광시스템에 대한 수심 30 m 실험역 시험이 최초로 이루어졌으며, 상업생산 1/20 규모의 시험용 채광시스템을 제작하여 근해역 실증시험을 목전에 두고 있다. 또한, 환경친화적 제련공정을 독자적으로 개발하여 규모확대시험을 수행 중에 있다. 우리나라의 심해저광물자원개발은 현재 개념연구단계를 지나 상용화 개발을 위한 본격적인 응용기술개발단계에 진입하고 있다.

이번 심해저광물자원개발 특별호는 일천한 심해저개발의 역사를 갖고 있음에도 불구하고 우리나라가 국제해저기구 이사국입과 동시에 세계 7대 광구확보국으로서 공해상에 경제적 해양영토의 개척뿐만 아니라 해양영토에 부존하는 자원의 실용화 기술개발에 대한 성과, 해양신산업 창출과 해양과학기술을 통한 해양부국 실현의 노력을 기록으로 남겨 심해저 광물자원개발의 새로운 지평을 여는 계기로 삼고자 한다.

특별호 투고논문

이번 심해저 광물자원개발 특별호에는 12편의 연구논문과 3편의 단보를 포함하여 총 15편이 수록되었다. 12편의 연구논문은 태평양 공해상 대한민국 망간단괴 독점개발광구를 대상으로 한 1) 망간단괴가 부존하는 해저면 연약지반의 물성특성, 2) 광구 주변 수층내 환경특성, 3) 망간단괴 채광장비개발, 4) 심해저자원개발사업의 경제성 평가와 심해저광물자원의 법제도분석 분야로 구성되어 있으며, 3편의 단보는 태평양 현장에서 운용되는 장비특성분야를 주로 다룸으로서 태평양 심해저 광물자원개발과 관련한 핵심주제의 연구결과를 수록하였다.

세부적으로 이현복 등(2008)은 대한민국 단독개발광구 내에 해저연약지반을 주행하면서 망간단괴를 채광하는 채광장비 개발에 필수적인 해저하층 퇴적물의 물성분석을 통하여 채광조건을 해석하였다.

손주원 등(2008)은 심해환경연구 중 북적도 반류와 북적도 해류의 경계에서 형성되는 발산대 해역(7°~10.5°N)에서 수층특성과 수층내 무기영양염 분포와 재무기질화 비율연구를 수행하였다. 신흥렬 등(2008)은 북동태평양 서경 131°30'W 남-북 관측선에서 CTD를 이용하여 해수특성과 해양구조분석을 수행하여 서태평양에 위치하는 동경 137°~142°E의 CTD 결과와 비교하였다. 김형직 등(2008)은 대한민국 망간단괴 독점개발광구내에 위치하는 KOMO 정점(Korea Deep-Sea Environmental Study Long-Term Monitoring Station, 10°30'N, 131°20'W)에서 시계열 퇴적물 포집장치를 설치하여 약 2년간(2003년 7월 ~2005년 6월) 수심 약 4,650미터에서 획득된 침강입자의 계절별 플럭스 변화양상을 해석하였다. 본 연구결과에서는 총질량 플럭스와 생물기원 플럭스의 계절적 변동은 엘니뇨/라니냐 영향당시의 물질 플럭스보다 크게 나타남으로 자연적 환경변동 특성과 규모의 명확한 측정의 필요성을 제기하였다. 김 등(2008)은 연구지역 퇴적물내 탄소와 질소성분의 조절인자를 규명하기 위하여 퇴적환경 변화에 따른 변화양상을 추적하였다. 본 연구결과에서 퇴적물내 탄소와 질소함량 분포는 탄산염보상심도와 연관된 수심, 생산력과 퇴적율에 의해 조절되고 있음을 주장하였다.

김형우 등(2008)은 망간단괴 채광장비개발과 관련하여 심해채광의 주요 요소기술 중의 하나인 연약지반에서 전체 채광공정의 동적거동해석을 상용 소프트웨어하에서 가능하도록 하였으며, 수중물체에 대한 유체동력학을 적용한 동적거동해석이 가능하도록 개발한 결과를 제시하였다. 박성재 등(2008)은 근해역 채광실증 시험에 요구되는 시험집광시스템 시험효율성을 높일 수 있는 원격제어 운용 소프트웨어 개발 결과를 제시하였다. 홍섭과 김형우(2008)는 해저면에서 주행하는 해저주행차량과 연결된 유연관(long flexible pipe)간에 연성 동적거동을 시뮬레이션을 이용하여 해석한 결과를 제시하였다. 최종수 등(2008)은 공리적 설계를 적용한 심해저 망간단괴 집광시스템 각각의 구성 요소를 충족하는 설계 유무를 평가한 결과를 제시하였다. 여태경 등(2008)은 심해채광시스템이 다양한 장비의 연동에 의해 구동되는 복합시스템으로서 이러한 시스템을 효율적으로 제어하기 위한 제어기 설계와 시뮬레이션에 의한 효율성을 입증한 연구결과를 제시하였다.

황석원과 황정태(2008)은 심해저 광물자원개발사업의 경제성과 관련하여 최근 금속광물가격의 변화를 반영한 시나리오에 의거한 경제성 평가를 수행하였다. 본 연구결과에서 최근 금속가격이 유지될 시 망간단괴를 연간 300만톤 규모로 상업생산시 내부수익률은 37.12%에 달하는 것으로 나타났다. 박성욱 등(2008)은 태평양 심해저 망간단괴자원외에 최근 관심이 집중되고 있는 해저열수광상의 개발동향을 분석하고 다양한 요인을 고려한 우리나라의 대응방안을 제시하였다.

이근창 등(2008)은 심해저 망간단괴 탐사에서 운용되는 시료채취장비의 특성을 고려하여 망간단괴 자원량 평가에 필수적인 부존밀도 분석시 장비별 부존밀도 보정의 문제점과 개선사항을 제시하였다. 지상범 등(2008)은 북동태평양 원양성 적점도를 대상으로 퇴적층별 지표특성, 지질공학특성과 광물학적 특성 차이를 비교하였다. 함동진 등(2008) 다중 음향측심장비를 현장운용하는데 있어서 수층별 음속특성에 따른 지형왜곡의 문제점을 최소화할 수 있는 조사측선 설정방안을 제시하였다.

감사의 글

심해저 광업이라는 우리나라 해양개발분야의 새로운 이정표를 설정할 수 있는 연구개발의 토대를 마련하고 심해저 광물자원개발 특별호가 발간되기까지는 이루 헤아릴 수 없는 많은 분들의 도움이 있었다. 심해저 광물자원개발이 국가연구개발사업으로서 실용화 개발단계 진입의 결실을 맺을 수 있도록 노력하여 주신 국토해양부의 관계관, 참여연구원과 연구선 승조원분들께 깊이 감사드린다. 그리고 심해저광물자원개발협의회에 참여하고 있는 민간 기업 회원사의 관심과 격려에 감사드린다. 바쁜 일정속에서도 특별호 발간을 위해 특별호 편집위원을 맡아주신 이경용, 홍섭 박사님께 감사드리며 논문을 투고해 주신 저자와 심사위원께도 지면을 빌어 깊이 감사드린다.

참고문헌

박세현, 박성욱, 강길모. 2005. 심해저 망간단괴 개발사업의 국제

- 기술 동향 분석 및 향후 개발 전망. *Ocean and Polar Research*, **27**: 477-490.
- 해양수산부, 2003. 태평양 심해저 광물자원개발 보고서 I.
- Charles, C., G. Herrouin, F. Mauviel and J. Bernard, 1990. Views on future nodule technologies based on IFREMER-GEMONOD studies. *Mater. Soc.*, **14**: 299-326.
- Das, Sh.S.K., 2001. Indian polymetallic nodule programme. pp. 14-19: Proc. 4th ISOPE Ocean Mining Symp., Szczecin, Poland.
- Muthunayagam, A.E. and S.K. Das, 1999. Indian polymetallic nodule program. pp. 1-5: Proc. 3rd ISOPE Ocean Mining Symp., Goa, India.
- Yand, N. and H. Tang, 2003. Several considerations of the design of the hydraulic pick-up device. pp. 119-122: Proc. 5th ISOPE Ocean Mining Symp., Tsukuba, Japan.
- Yang, N. and M. Wang, 1997. New era for China manganese nodules mining: Summary of last five years' research activities and prospective. pp. 8-11: Proc. 2nd ISOPE Ocean Mining Symp., Seoul, Korea.
-
- 2008년 7월 3일 원고접수
2008년 7월 20일 수정본 채택
담당편집위원: 이경용