

<Review>

New IODP 소개와 K-IODP의 추진 방향

김길영^{1,*} · 장세원¹ · 현상민²

¹한국지질자원연구원 석유해저연구본부

²한국해양과학기술원 해양환경보전연구부

요 약

2013년 10월부터 New IODP (International Ocean Discovery Program)가 새롭게 시작되어 2023년까지 지속될 예정이다. 기후 및 해양 변화, 생물권 프론티어, 지구연결 및 생동하는 지구 등 4개 분야에 대한 연구 주제로 구성되어 있으며 이외에도 해양지구과학분야의 미래를 준비하기 위하여 교육 및 아웃리치(outreach)에도 집중하고 있다. 교육의 경우 해양지구과학 전공교사 및 대학원생들을 대상으로 하는 교육프로그램을 개발하여 운영하고 있으며 아웃리치의 경우 일반인에게 해양과학의 중요성을 알리기 위한 다양한 방법을 개발하여 운영한다. New IODP에서는 시추선이 각 국가별로 별도로 운용되며 우리나라는 미국에서 운영하는 조이데스 레졸루션(JOIDES Resolution)에 파트너(JR Partner)로 가입하고 있다. 우리나라는 이전의 ODP (Ocean Drilling Program) 사업을 포함하여 1997년 이후 지금까지 35명이 시추선 승선연구에 참여하여 연구를 수행하였다. 현재 New IODP에 대응하기 위하여 K-IODP도 새로운 연구목표와 연구시스템으로 운영되고 있으며 우리나라 해양지구과학의 발전을 위하여 국내외 많은 전문가들의 참여를 기대하고 있다. K-IODP 2단계에서는 전세계 대양지역에 대해 우리나라 과학자가 주도하는 시추제안서를 작성하고 제출하는 것이 주요한 목표중의 하나이며 이를 위해 국내외 전문가들과의 협력 및 공동연구를 추진할 것이다. 이 논평의 목적은 한국 K-IODP의 활동을 국내 해양지구과학 전문가들에게 소개함으로써 관련된 많은 전문가 및 젊은 학문후속세대의 젊은이들이 IODP 활동에 적극적으로 참가하도록 독려하기 위한 것이다.

주요어: 심해저시추프로그램, 해양시추프로그램, 국제공동해양시추사업, 국제해양탐사프로그램, 한국 IODP

Gil Young Kim, Se-Won Chang and Sang-Min Hyun, 2014, Introduction of New IODP and progress direction of K-IODP. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 5, p. 657-669

ABSTRACT: New IODP (International Ocean Discovery Program) has begun in October, 2013 and will be continued to 2023. New IODP has four research themes: climate and ocean change, biosphere frontiers, earth connections, and earth in motion. In addition, education and outreach will be crucial components of new IODP. There are various education programs which were developed for the teachers and graduate students in the field of marine earth science. Outreach programs for announcing the importance of marine science to the public are being developed. In new IODP, three drilling platforms will be operated separately by the United States, Japan, and Europe. Korea belongs to the JOIDES Resolution (JR) partner operated by the United States. A total of 35 Korean scientists have participated in various drilling expeditions since 1997. K-IODP prepared new research objectives and project system for corresponding to new IODP. In particular, one of important missions in the second phase of K-IODP is to submit drilling proposal led by Korean scientists around the world ocean. For this work, K-IODP will promote international collaborations as well as domestic cooperations. In this article, we want to introduce current situations and activities of the Korean IODP community in order to encourage Korean geoscientists to participate in IODP activities.

Key words: DSDP, ODP, IODP, New IODP, K-IODP

(Gil Young Kim and Se-Won Chang, Petroleum and Marine Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Republic of Korea; Sang-Min Hyun, Marine Environment & Conservation Research Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan 426-744, Republic of Korea)

* Corresponding author: +82-42-868-3166, E-mail: gykim@kigam.re.kr

1. 서론

IODP (International Ocean Discovery Program)는 해양 지구과학분야의 거대과학을 연구하는 국제 해양탐사프로그램으로서 현재 세계 26개국이 가입되어 있다. 이 프로그램은 미국내 대학 및 연구소가 주축이 되어 1968년 DSDP (Deep Sea Drilling Project)부터 시작되어 현재까지 45년 이상 거대과학을 연구하며 진행되고 있는 대규모 국제공동 연구 프로그램이다.

IODP는 바다로 덮여 있는 지구(주로 지각내)에 대한 연구(그림 1)를 주로 수행하는 프로그램이다. 주된 연구는 해양 및 지구의 환경변화에 대한 예측 및 대처능력 개발, 해저에 무궁무진하게 존재할 수 있는 신생물권에 대한 새로운 발견, 지구 내부에서 일어나는 다양한 지질 및 지구물리학적 운동의 이해, 활동적인 지구의 운동으로 인해 발생할 수 있는 지질재해 등이 있다. 따라서 IODP는 최첨단 과학기술을 최대한 활용하여 이러한 숙제를 해결하기 위하여 진행되고 있는 국제적인 프로그램이다(Kim *et al.*, 2012, 2013a, 2013b, 2014; IODP 2013).

2013년 10월부터 새로이 시작된 New IODP에서는 미국의 시추선인 조이데스 레졸루션(JOIDES Resolution), 일본의 치큐선(Chikyū), 그리고 유럽의 특수임무시추선(MSP: Mission Specific Platform)이 별도로 운영

되는 시스템으로 재편성되어 향후 10년 동안 지속될 예정이다. 특히 New IODP에서는 해양과학의 미래를 준비하기 위하여 교육 및 아웃리치(outreach)에도 다양한 방법을 개발하여 운영할 것이다.

한국의 IODP (K-IODP)는 1996년부터 IODP의 전단계인 ODP (Ocean Drilling Program)에 참여하였고 2006년부터 해양수산부의 지원으로 한국지질자원연구원이 주관기관이 되어 IODP에 컨소시엄 형태로 공식 가입하였다. IODP에 가입한 이후 시추선 승선기회가 증가하였고 선진국 전문가들과 함께 공동연구가 가능하였다. 또한 2013년에는 우리나라가 IODP에 가입된 이후 처음으로 우리나라 배타적 경제수역내에 1개 정점을 포함하는 IODP 시추(Exp. 346)가 동해에서 수행되어 우리나라의 해양과학수준을 세계에 알리는 계기가 되었고 전국민들에게도 해양과학의 중요성을 인식시키는 기회가 되었다(Kim *et al.*, 2013b).

이 논평에서는 현재 새로이 시작된 New IODP에 대한 내용과 K-IODP의 연구활동 및 향후 추진 방향을 소개하여 해양지구과학을 전공하는 많은 국내 전문가들과 후학들이 이 프로그램에 적극적으로 참여할 수 있도록 유도하기 위함이다. 또한 향후 국제공동연구의 활성화와 해양과학분야의 국제적인 전문가를 양성하는데 참여할 수 있도록 국내의 관련전문가들을 독려하고 이를 통하여 New IODP에 한국의 K-IODP

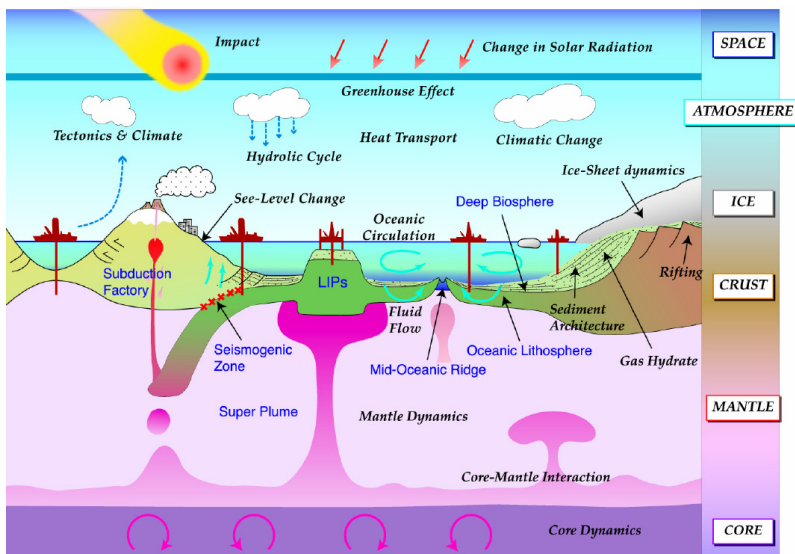


Fig. 1. Earth system components, process, and phenomena (courtesy of A. Taira). Note various scientific drilling area using IODP drilling platforms.

가 적극적으로 참여하고 한국의 해양과학기술을 한 단계 도약시킬 수 있는 계기를 마련하고자 한다.

2. IODP 역사 및 New IODP의 시작

2.1 IODP의 역사

IODP는 1968년 DSDP (Deep Sea Drilling Project) 라는 이름으로 미국의 대학 및 연구소가 주축이 되어 처음으로 시작되었다. DSDP는 글로마 챌린저(Glomar Challenger)호를 사용하여 해저 시추코어를 획득하였다. DSDP는 1983년까지 Legs 1- 96 (Sites 1-624) 으로 총 170 km 길이의 코어를 시추하여 대양저 산맥과 해구의 구조, 지구의 기후 및 환경변화에 관한 다양한 연구를 수행하였다. 1983년부터는 그 후속사업으로 ODP (Ocean Drilling Program)로 연결되었으며 세계 22개국의 과학자 및 전문가가 참여하여 Legs 100-210 (Sites 625-1277)에서 총 222 km를 시추하여 해양지각 구성성분과 해저분지 형성 원인 등과 해저확장 및 판구조론 등의 이론을 규명하고자 했다.

2003년부터는 기존 시추선인 조이데스 레졸루션 (JOIDES Resolution)을 이용한 시추깊이의 한계(최대 시추 깊이: 해저면 하 약 2,111 m)를 극복하기 위하여 일본이 건조한 새로운 시추선인 치큐 시추선과 유럽해양시추연합(ECORD: European Consortium for

Ocean Research Drilling)이 주관하는 특수임무시추선(MSP)을 동시에 운용하는 IODP (Integrated Ocean Drilling Program)가 시작되었다. IODP 동안에 치큐호를 이용한 심부시추를 통하여 섭입판과 지진대 운동기작 등에 대한 많은 연구 자료를 제공하였고 시추공내 지진계 설치 등 판의 이동에 의한 지진과 쓰나미의 예보를 위한 관측정을 설치하였다. IODP는 Expeditions 301-346 (Sites U1301-U1430 (USIO: United States Implementation Organization), C0001-C0022 (CDEX), M0001-M0058 (ESO: European Science Organization)을 수행하였고(그림 2), 동해에서 시추한 Exp. 346을 마지막으로 2013년 9월말 종료되었다.

2.2 New IODP의 조직 및 운영 방향

2013년 10월부터는 IODP에 일대 변화가 시작되었다. 기존의 IODP에서 운영하던 방식의 시추선 통합운영이 각 국가가 별도로 운영하는 형태로 전환되었다. 또한 IODP 가입국도 자기들이 원하는 시추선에 파트너로 가입하여 회원국으로서 자격을 가지고 권리를 행사할 수 있는 시스템으로 전환되었다. 이러한 새로운 형태의 프로그램을 New IODP (International Ocean Discovery Program)로 명칭 하였다. 프로그램 영문명도 기존의 시추공학적인 이름에서 과학연

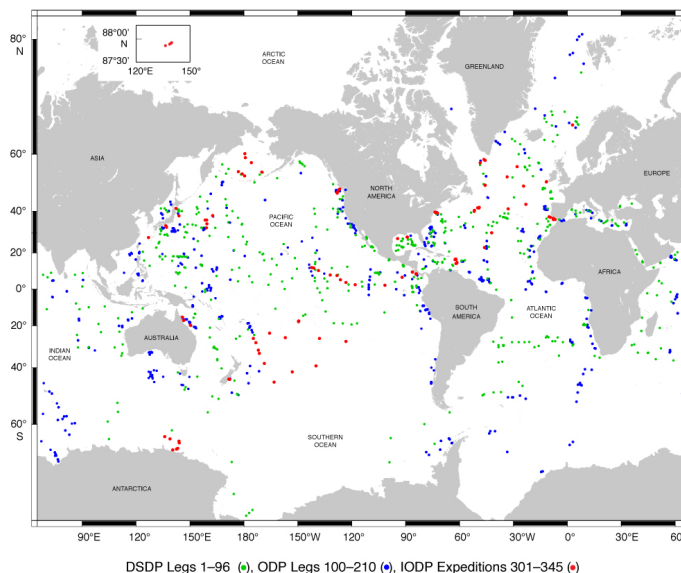


Fig. 2. Location map of the drilling sites by DSDP, ODP, and IODP. Note to classify individual location of DSDP, ODP, and IODP by colored dot.

구를 목적으로 시추하는 국제적인 프로그램이라는 인식을 줄 수 있도록 변경되었다.

New IODP는 현재 총 26개국에 가입되어 있는데 미국 국립과학재단(NSF: National Science Foundation)에서 지원하는 JR partner, 일본 문부과학성(MEXT: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan)에서 지원하는 Chikyu partner, 그리고 MSP (Mission Specific Platform)를 운영하는 유럽공동체(ECORD)에서 지원하는 ECORD member로 구성된다(그림 3). 우리나라는 현재 JR partner에 가입되어 있으며 향후 가용예산이 충분하다면 Chikyu partner도 동시에 가입하는 이중 트랙(dual tracks) 방식을 추진할 계획이다.

IODP 시추선을 이용한 과학시추를 위해서는 New IODP의 연구주체에 맞는 시추제안서를 작성하고 제출하여 전세계 전문가들로 구성된 평가패널인 SEP (Science Evaluation Panel)의 심사를 통과해야 된다. 심사는 시추제안서의 질적인 수준을 평가하는 과학부분과 시추지점 선정이 시추목적에 달성할 수 있는 합리적이고 적절한지를 평가하는 시추 사이트 부분으로 구성되어 있다(그림 3). 이러한 2개 부분에 대한 평가가 완료되면 최종 EPSP (Environmental Protection Safety Panel)를 통해 환경적인 문제에 대

한 검토를 마친 후 각각의 시추선시설위원회(platform facility board)의 최종 승인을 통해 시추일정이 부여 된다. 시추제안서 제출은 매년 4월 1일과 10월 1일을 기준으로 접수받아 평가가 진행된다. 또한 시추제안서 제출과 더불어 시추지점을 중심으로 하여 취득한 다양한 지구물리자료 이른바 시추정점 탐사자료(site survey data)를 반드시 제출해야만 접수가 완료된다. 시추정점 탐사자료의 경우 제안된 정점에 대한 인라인(inline) 및 크로스라인(crossline)에 대한 SEG-Y 형태의 자료를 제출하도록 규정되어 있다. 또한 시추 목적에 따라서 다양한 지구물리자료(chirp, air gun, sparker 등)를 동시에 제출하도록 되어 있다(시추제안서 제출 및 심사와 제안서 양식 등에 대한 자세한 내용은 IODP 홈페이지(www.iodp.org)를 참고).

New IODP라고 불리는 국제해양탐사프로그램은 지구과학의 미해결 연구주체들을 새로운 해양시추사업을 통해 해결하려는 국제과학계의 요청에 따라 준비하기 시작하였다. 2009년 9월 독일 브레멘에 21개 국가에서 온 약 600명의 과학자들이 “INVEST 컨퍼런스”에 모여 과학시추로 해결 가능한 과학적 의문점과 대양저의 역할에 대해 논의하였다(http://www.marum.de/Page7894.html). 이 회의를 통해 과학시추 계획 편집 위원회가 구성되었고 위원들은 IODP

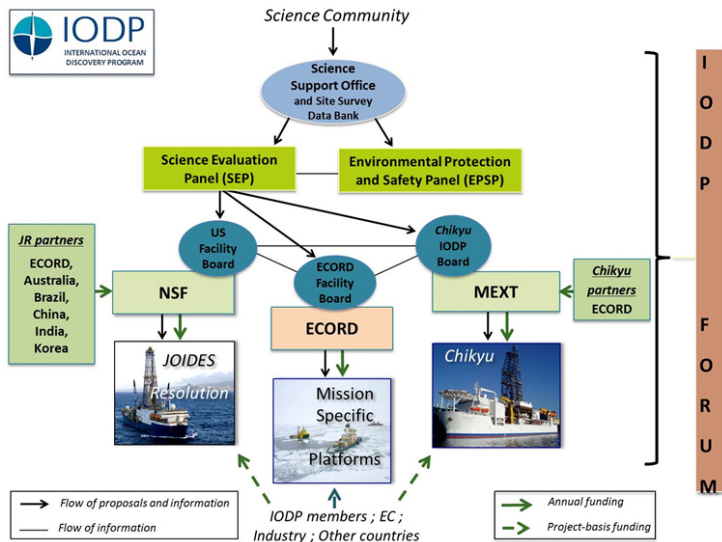


Fig. 3. New IODP structure operated independently by NSF, ECORD, and MEXT. Note implementation of three platforms (JR, Chikyu, and MSP) approved by each facility board. The panels evaluate IODP drilling proposal. Korea is JOIDES Resolution partner.

에 가입된 국가의 선도 과학자이거나 지질학, 지구 물리학, 생지화학, 지구생물학, 고해양학(고기후학), 기후모델링, 지화학 분야 등의 최고 전문가들로 구성되었다. 이 위원회는 2010년 말 INVEST에서 도출된 새로운 과학계획의 초안을 제출하여, 과학계의 검토를 받고 의견을 수렴하였다. 2011년 초에는 외부 심사위원들이 개정된 과학계획의 초안을 검토한 후, 추가적인 의견과 토론을 거쳐 최종본이 완성되었다.

New IODP를 위한 과학 계획은 2013년부터 2023년까지 약 10년 동안 다자간의 국제 협력으로 4가지 연구주제(아래 참조)를 집중적으로 다루게 될 것이며, 각각의 연구주제는 우리가 현재 당면하고 있는 최우선 순위의 과학목표를 충 망라한 요약본으로 평가된다. 또한 교육 및 아웃리치를 통해 미래의 해양 과학을 준비할 수 있는 프로그램도 마련하였다. New IODP에서 향후 다루게 될 내용(Illuminating Earth's past, present, and future)을 계속해서 소개한다.

기후와 해양 변화(CO: climate and ocean change): 극한지역에서 기후 및 해양변화와 관련된 연구주제는

과학계의 가장 어려운 질문을 해결하려는 목표중의 하나다(그림 4a). 예를 들면, “온실가스가 계속적으로 증가하는 경우, 기후, 해양 및 빙상은 어떻게 반응하는가?” 와 같은 질문이다. 그러나 기후변화는 10년 단위의 기간으로도 예측하기가 힘든 것이 사실이다. 지질학의 기록은 지구의 기후가 상당히 변했던 기간이 많이 있었음을 보여주는데, 때로는 기후가 내외부적 압력 때문에 돌발적으로 변하기도 했다. 해양 과학시추는 지구 기후 변화의 원인과 그 영향 정도를 이해할 수 있도록 다양한 지역에 대한 고해상도의 시료와 자료를 제공 해 줄 수 있을 것이다. 과거의 기후 복원을 전문으로 하는 과학자들은 통계적 기후 시뮬레이션에서 나타나는 극적인 현상을 해석하기 위해서 물리학과 화학을 더욱 심도 있게 연구해서 종합적으로 해석해야만 가능하다. 해양 과학시추는 고대 환경에 관한 수많은 시공간적 자료를 제공하여 우리가 살고 있는 지구의 역동적인 기후 체계를 이해하는데 도움을 줄 것이다(IODP, 2013).

생물권 프론티어(BF: biosphere frontiers): 이 주제

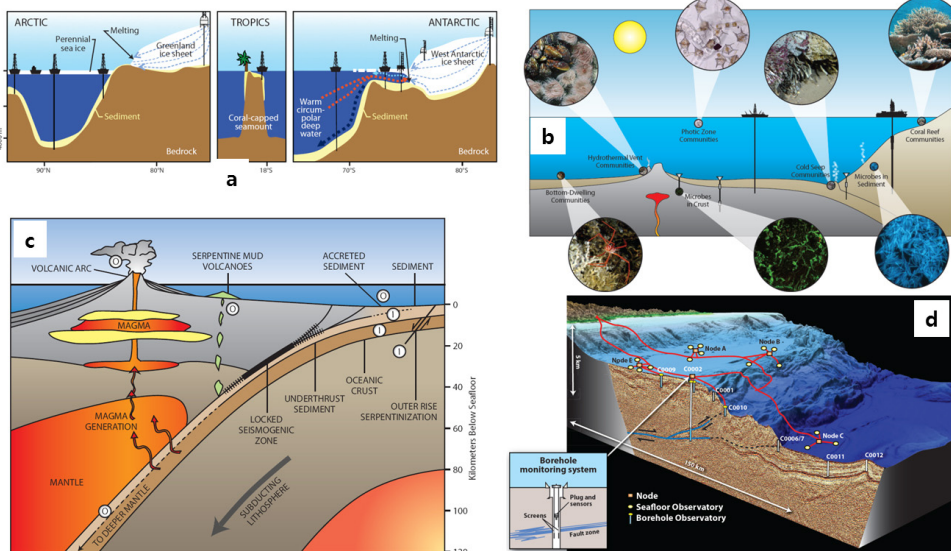


Fig. 4. (a) Proposed drilling strategy from Arctic to Antarctic to collect records linking climate, ice sheet, and sea level histories on geological time scales (IODP, 2013; Schoof, 2010). (b) The presence and size of the deep biosphere may affect the Earth system (Devey *et al.*, 2007; Ross, 2007; Vanreusel *et al.*, 2009; Orcutt *et al.*, 2010; IODP, 2013). (c) Cartoon of a subduction zone showing major inputs (I), outputs (O), fluid and melt pathways, and arc crust structure (IODP, 2013). (d) Borehole observatories spanning the source zone of subduction earthquakes and tsunami-like ones shown here now being installed by the IODP as part of the Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (Expedition 319 Scientists, 2010; IODP, 2013).

는 광합성을 할 수 없는 서식이 어려운 환경에 살고 있는 심해저 내의 해저생물을 탐험하는 것과 관련이 있다(그림 4b). 심해저 생물권에 관한 연구는 초기의 기초적인 탐색작업에서 계놈, 서식지, 생태학적 지위 그리고 대사경로에 관하여 시스템화된 광범위한 조사연구로 진전되어 왔다. 이 연구는 DNA기술과 복합 지질분석 등이 발전함에 따라 빠르게 진행되고 있는 중이다. 시추코어를 이용하면 환경 강제력에 대한 생태계의 반응도 연구할 수 있을 것이다. 또한 기후와 해양의 화학성질이 상대적으로 짧은 기간 동안 돌발적으로 변했던 시기의 시료와 자료가 획득될 수 있을 것이다. 아울러, 시추를 통하여 각각의 미생물에서 발생했던 사건들에서부터 인류의 진화까지 전체 생태계에 미치는 영향을 다룰 수 있게 될 것이다(IODP, 2013).

지구연결(EC: earth connections): 이 주제는 지표, 암석권 그리고 지구 심부의 과정 사이의 관련성을 연구는 것이다(그림 4c). 시추기술의 발전으로 심해저 연구를 다각적인 차원으로 할 수 있게 변화되고 있으며, 풍화 및 변질되지 않은 순수한 지구 상부 맨틀을 획득할 수 있을 것이다. 해수와 대양저 사이에서 일어나는 반응은 지각 구조에 따라 다르기 때문에, 결과적으로 현재까지 잘 알려져 있지 않은 지구의 역학적 과정에만 의존하고 있다. 예를 들어 해양 지각은 해수와 반응으로 CO₂를 흡수하는데, 관찰만으로는 그 속도와 장소를 알아내는 데 많은 제약이 있다. 이 작용은 얼마나 많은 CO₂와 물이 그 결과물을 가지고 지표면으로 돌아와 화산활동과 열수 작용에 영향을 주는 섭입대로 흡수되었는지를 결정할 수 있게 한다. 화산 분출물은 섭입대가 시작되는 어떤 모형과 대양의 호상열도가 대륙지각으로 변형되는 것을 실험하는 데 사용될 수 있을 것이다. 해양 과학시추는 우리가 살고 있는 지구의 발전과 진화를 밝히려는 지질학, 지화학, 그리고 마그마와 수문학 등의 과정을 파악하고 이해하는데 필수적인 방법이라고 할 수 있다(IODP, 2013).

생동하는 지구(EM: earth in motion): 이 주제는 인류 역사상 발생해온 지진과 산사태 그리고 쓰나미를 일으키는 역동적인 과정에 관해 다루는 부분이다(그림 4d). 해양 과학시추는 이러한 사건들의 빈도, 구

모, 역학 및 이들의 영향력에 대해 밝혀줄 수 있다. 뿐만 아니라, 단층파괴와 관련된 지진 순환 시, 그 영역의 변화도 알 수 있을 것이다. 또한 이 주제는 심해저 류층에 엄청난 양의 CO₂의 격리 가능성과 가스 하이드레이트의 형성 및 안정성, 그리고 해저 퇴적물과 화산지각에서 유체의 흐름을 조사할 수 있다. '생동하는 지구'는 해저 시추공에 설치된 해저표면 관측소의 연결망 및 개별적 관측망(observatories)에서 얻은 실시간 자료를 관측할 것이다. 이러한 관측 시스템은 화산기원 해양지각에서 얻은 유체와 미생물 시료를 얻을 수 있는 최적의 수단이다. 이 작업을 통하여 초단위에서 수 십 년 단위로, 응력의 축적과 그 결과로 야기된 압력, 큰 규모의 지각 운동, 또한 이러한 과정과 유체 수송 사이의 관련성에 관한 중요한 정보를 얻어 낼 수 있다. 관측망은 실시간 모니터링을 위해 육지와 케이블로 연결하여 자료를 수집할 것이다.

IODP에 소속된 과학자들에 의해 수행되는 4개 연구주제에 관한 다양한 조사는 향후 새로운 연구체계를 확립하는 데 매우 중요한 역할을 하고, 그 외 인류가 필요로 하는 자원개발의 기회를 확보하기 위해 요구되는 다양한 지질학적 지식을 제공하게 될 것이다(IODP, 2013).

교육 및 아웃리치: 교육과 아웃리치는 IODP의 4개 분야 연구주제에 못지않게 매우 중요한 부분에 해당한다. 이 프로그램은 최첨단의 실험실을 갖춘 시추선과 3개 대륙에 있는 코어 저장소(그림 5), 일본 고치코어센터(KCC: Kochi Core Center), 미국 텍사스 걸프 연안 코어 저장소(GCR: Gulf Coast Repository), 독일 브레멘 대학(BCR: Bremen Core Repository) 코어 저장소가 있다. 이 시설들은 누구나 이용 가능한 자료와 시료가 보관되어 있어 전 세계 수천 명의 과학자들과 해양기술자들이 이 프로젝트에 자유롭게 참여할 수 있다. 미국 심부지구교육(deep earth academy)의 스쿨오브락(School of Rock)은 JOIDES Resolution에 탑승하거나 혹은 걸프 연안 코어 저장소에서 교사들 혹은 대학원생에게 1~2주간의 집중교육을 시키는 프로그램이다. ECORD Summer School은 유럽에서 실시되는 IODP 교육으로, 이탈리아 Urbino Summer School에서는 고기후 분야 그리고 독일에서는 EC와 EM분야에 대한 교육을 실시한다. J-DESC Core School은 일본에서 실시하는 IODP 교육으로 고

치코어센터에서 주로 실시하고 있다(IODP, 2013).

차세대 과학자 양성과 홍보활동: IODP는 승선연구의 기회와 국제 과학자 및 엔지니어로 구성된 팀과 함께 육상에서도 연구 할 기회를 제공하기 때문에, 신진과학자, 대학원 및 학부 학생들에게 기술적 그리고 과학적 훈련의 장을 제공한다. 지구 환경이 점점 열악해짐에 따라 전 세계가 협력하여 대책을 강구해야 하는 현실이기 때문에 과학시추로 얻어진 다자간 및 국제적 훈련의 경험은 앞으로 민간부분, 학술분야 그리고 전 세계 정부에서 일하게 될 미래 과학자들에게 소중한 자산이 될 것이다. IODP는 웹사

이트를 통한 홍보는 물론 문서와 오디오, 비디오 등의 매체와 공공기관 및 사회적 네트워크를 사용하여 지구체계와 생명과학에 대해 일반 대중에게 알리고 해양과학에 대한 의식을 고취할 수 있도록 적극적인 소통 프로그램을 만들어 운영하고 있다(IODP, 2013).

실행(implementation): New IODP에서 한 개의 플랫폼으로는 4개 분야의 연구주제를 다루어야 하는 다양한 시추목적들을 동시에 충족시킬 수 없다. 따라서 시추 역량을 극대화하기 위해서 IODP는 3개의 주된 플랫폼을 사용할 것이다. 다목적 시추선박 JR호, 심해 깊은 곳을 라이저 시추할 수 있는 치쿠호,

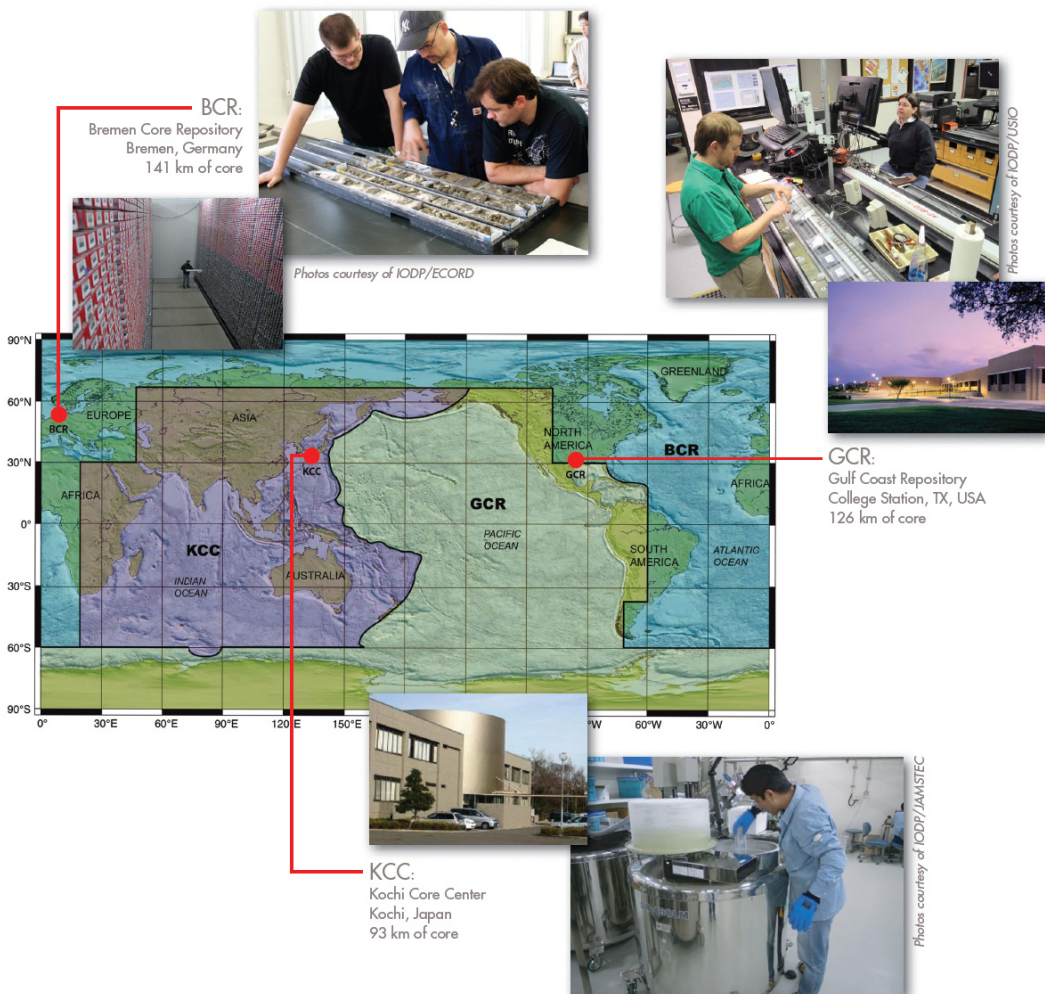


Fig. 5. Three regional core repositories (BCR, KCC, GCR) of IODP (IODP, 2013). By early 2011, a total of 360 km of deep-sea core from all ocean basins were archived.

그리고 특히 극한지 환경에서 시추할 때 사용하는 특수 임무 플랫폼 등이다. 미국 선박 JR호는 이 과학 계획을 추진함에 있어 겪게 될 많은 어려운 점들을 해결할 수 있는 다기능적인 플랫폼이라 할 수 있다. JR호는 매년 8개월 정도의 일정으로 운영되고 있다. 최첨단 심해 라이저 시추 플랫폼인 치큐호는 1년에 약 5개월간 이용이 가능할 것으로 기대하고 있다. 치큐호는 맨틀의 연구가 가능한 심해 지각, 섭입지역의 환경과 이와 관련된 지진 발생지역까지 시추가 가능하다. 또한 탄화수소가 많은 지역의 지질학적 및 생물학적 시스템 연구를 위해서도 시추가 가능하다. MSP는 1년에 극한지 주요 작업에 참여하게 될 것으로 기대하고 있으며, 북극권 지역 및 암초가 많은 천해 등에 대해 도전적인 자세로 시추환경을 개척해 나갈 것이다. 매년 26개 IODP 회원국 국가에서 참가하는 약 200명의 과학자들이 시추선에 탑승하여 과학시추에 동참하게 될 것이다. 채취된 코어는 앞에서 설명한 바와 같이 3개 대륙 코어저장소에 보관되며 각각의 탐사에서 획득된 자료는 데이터베이스화를 통해 저장되며 탐사 후 일정기간 이 지나 유효기간이 끝나면 전세계 과학자들이 이용할 수 있도록 제공된다(IODP, 2013).

3. K-IODP의 역사 및 주요활동과 기존 연구결과

3.1 K-IODP 역사

우리나라가 ODP/IODP에 가입하기 전에는 대부분의 연구가 우리나라 주변지역에 국한되었기 때

문에 연구주제 및 범위에 한계가 많았다. 우리나라 해양지질 연구에서 이용되고 있는 해저 코어의 경우 대부분이 10 m 내로 짧기 때문에 대부분의 연구가 세계적 수준의 우수한 연구결과를 도출하는데 한계가 많았다. 따라서 국내해역 연구에서 벗어나 선진국형 연구의 필요성(연구목적 및 범위의 다변화 요구 등)이 대두되면서 IODP와 같은 국제 프로그램에 참여하여 국제 수준의 전문가 양성과 우수 연구결과를 창출해야 된다는 관련전문가들의 요구가 증가하게 되었다. 따라서 세계 최정상 과학자가 참여하고 최첨단 시추선과 시추기술을 이용하는 IODP와 같은 거대과학 연구의 필요성이 대두되었고 이를 위해서 IODP에 가입하게 되었다.

우리나라가 ODP에 참여하면서 1997년 연 3억원의 분담금을 지불하고 2003년까지 6명의 승선과학자가 승선연구에 참여하였다. 2004년부터는 해양수산부 지원사업으로서 2010년까지 K-IODP 1단계 사업이 진행되었다. 2006년도에 IODP에 공식가입하면서 한국지질자원연구원과 미국 국립과학재단 및 일본 문부성과 3년간 양해각서(Memorandum of Understanding: MOU) 체결과 함께 총 13억원을 분담금으로 지불하였다. 이 당시에는 아시아 회원국 자격으로 가입하였다. 2009년에는 2013년까지 5년 기간의 2차 양해각서를 체결하여 준회원국의 자격을 취득하였고 2010년까지 총 20억원을 분담금으로 지불하였으며, 총 15명의 한국인 과학자가 승선연구에 참여하였다. 특히 1단계 동안에는 주관기관인 한국지질자원연구원내에 K-IODP 사무국이 설치되어

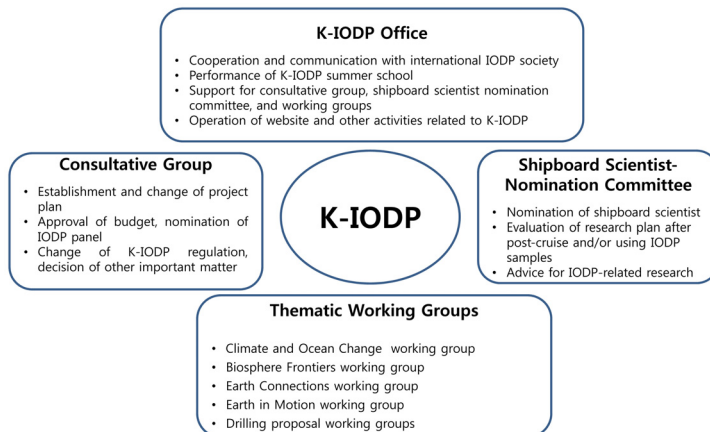


Fig. 6. Organization and structure of K-IODP. Note various working groups categorized by each theme.

효율적이고 체계적인 연구지원 및 K-IODP 활동을 할 수 있도록 행정적인 지원을 하고 있다. 그외에도 K-IODP 1단계에서는 4명의 한국과학자가 시료분배 모임(sampling party)에 참가하여 시료확보 및 후속연구를 수행하였다(Lee *et al.*, 2006).

해양수산부 지원으로 2011년 11월부터 K-IODP 2단계 사업이 시작되었고 2018년까지 약 7년동안 수행될 예정이다. 2단계 사업에서는 주관기관으로 한국지질자원연구원이 그리고 협동기관으로 한국해양과학기술원이 참여하고 있으며 전국 각 대학에서 시추선 승선 및 시추제안서 작성과 관련된 연구에 위탁형태로 참여하고 있다. 특히 2단계 사업에서 K-IODP의 조직과 구조(그림 6)를 보면 사업수행에 대한 자문과 조언역할을 하는 과제협의체가 해양수산부 담당공무원, 한국해양과학기술진흥원 과제 담당자, 외부 대학 및 연구소의 관련 전문가와 각 핵심 과제 책임자 등으로 구성되어 있으며, New IODP의 과학계획에 맞추어 4개 분야(CO: Climate and Ocean change, BF: Biosphere Frontiers, EC: Earth Connections, EM: Earth in Motion)의 워킹그룹이 구성되어 있다. 또한 관련전문가로 구성된 시추선 승선자 선정 위원회는 한국인 승선자를 결정하는 역할을 담당한다. 특히 승선자 선정의 경우 지원하는 시추탐사 목

적에 가장 적합하고 승선 후에 후속연구를 충분히 수행할 수 있는 능력이 있다고 판단되는 지원자를 우선적으로 선정하여 IODP에 추천하고 있다. IODP 2단계 사업이 시작된 후 2014년 10월 현재까지 총 14명의 한국인 과학자가 승선연구에 참여하였으며(그림 7) 시추시료를 이용하는 후속연구도 지속적으로 수행되고 있다. 또한 2명의 한국인 과학자가 일본 고치코어센터에서 있었던 Exp. 346 시료분배 모임에 참석하여 시료를 확보하였고 이를 이용한 연구를 진행중에 있다. 그리고 2014년 11월말부터 2015년 9월까지 IODP Expedition 353, 354, 355, 356의 시추탐사에 각 1명씩 총 4명이 승선 확정된 상태다.

3.2 K-IODP 주요활동 및 기존 연구결과

K-IODP 1단계 사업에서는 우리나라가 국제프로그램에 가입할 수 있도록 정부부처에 ODP/IODP의 중요성을 설명하고 가입을 추진한 것과 정식 가입한 것이 가장 큰 성과라고 할 수 있다. ODP/IODP에 가입함으로써 이를 통해 한국의 과학자들이 시추선에 승선하여 연구를 수행할 수 있도록 기초를 마련하게 되었다. 더불어 각종 언론 및 중등교과서 등에 ODP/IODP를 홍보함으로써 해양과학의 중요성을 대중에게 알리는 활동도 수행하였다. 또한 한국

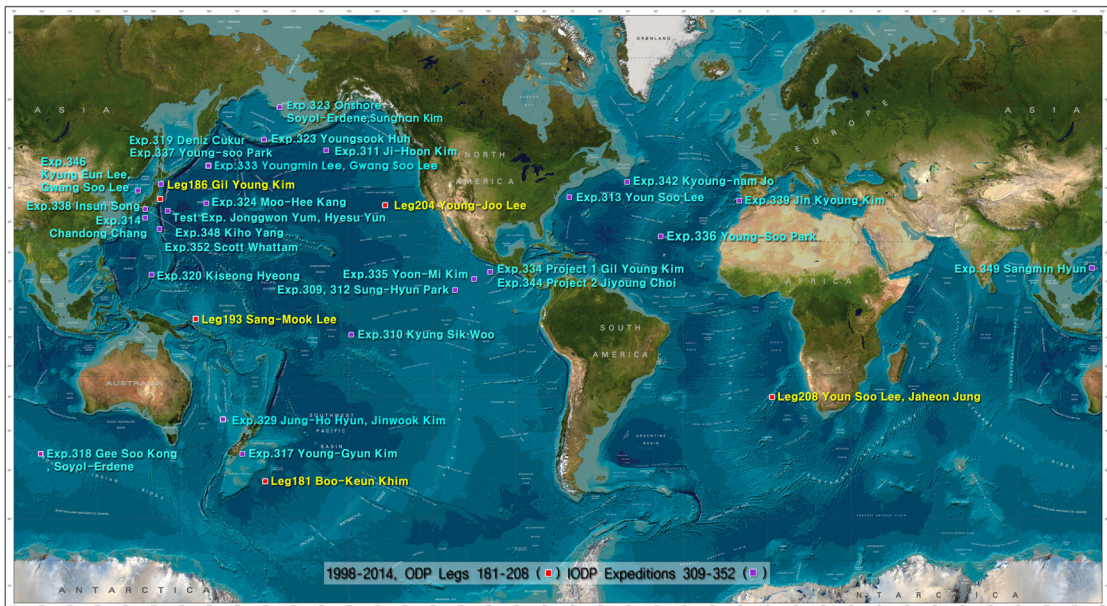


Fig. 7. Map showing the locations of Korean participants during ODP/IODP since 1997. Note the participants are mostly concentrated in the Pacific Ocean.

인 과학자 5명이 4개의 시추제안서 제출에 참여하기도 하였다. 이 중에서 우리나라 배타적경제수역내의 한 개 정점을 포함하는 동해에 대해 아시안 문순이라는 제목으로 시추제안서(#604)를 일본과 공동으로 제출한 것이 큰 성과중 하나다. 이러한 시추제안서 작성을 위해 한일공동 심포지움을 정기적으로 개최하여 한일간의 학술교류를 추진하기도 하였다.

2011년 11월 2단계 사업이 시작된 후 K-IODP의 가장 큰 성과는 #604 시추제안서가 채택되어 동해에서 IODP Exp. 346 시추가 성공적으로 수행된 것이다. 이 시추탐사에는 한국인 3명(승선과학자 2명, 읍서버 1명)이 승선하여 연구활동을 수행하였다. 또한 KBS 및 MBC 방송에 이 시추목적과 활동에 대하여 자세하게 소개함으로써 해양과학의 중요성을 일반인에게 홍보하는 기회가 되었다. 시추가 종료된 후에도 시추에 참여하였던 미국의 시추선 조이레스레줄루션 이 부산항에 기항할 수 있도록 추진하여 기항지 행사(port call event)를 개최하여 400명 이상의 학생 및 일반인이 시추선을 방문하여 최첨단

시추장비 및 실험실을 견학 할 수 있는 기회를 제공하였다. 이 행사에는 많은 중등 및 대학생들이 방문하여 큰 관심을 보여주어 해양과학의 미래가 밝다는 것을 기대할 수 있었다(그림 8a). 해양과학의 미래를 준비하기 위하여 K-IODP Summer School이 매년 개최되어(2014년 5회째 개최) 약 100여명의 대학원생이 교육을 이수하였다(그림 8b). 이수자 중 일부를 선발하여 일본 J-DESC (Japan Drilling Earth Science Consortium) Core School에 파견교육을 실시함으로써 선진국의 기술을 직접 배울 수 있는 기회를 제공하였다. 이 파견교육은 2014년 현재 3회째로 9명이 참가하였고 향후에도 매년 실시할 예정이며 필요 시에는 유럽의 ECORD Summer School에도 파견교육을 실시할 계획이다.

위 외에도 2010년까지 K-IODP 1단계 사업의 주요 연구 성과를 정량적으로 평가하면 국제학술지 38편, 국내외 학술지 25편을 게재하였고 국내외 학술대회에 175편의 논문을 발표하였다. 세미나 및 워크숍 개최가 50회이며 참가는 73회에 이른다. 또한 국

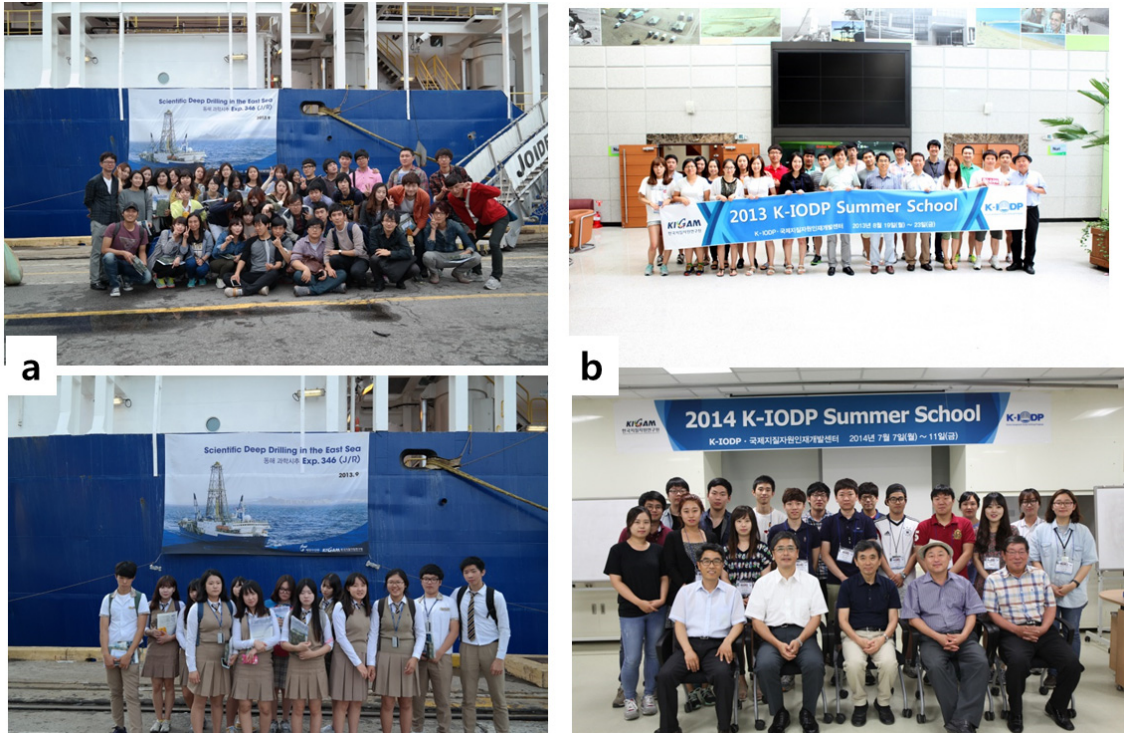


Fig. 8. The photographs (a) of the university and high school students visited during JR Busan port call. The photographs (b) of the graduate students participated in K-IODP Summer School in 2013 and 2014. The attended students were from seven universities.

외 전문가 초청 세미나가 19건이고 IODP 패널회의 및 국제회의를 10건 개최하였으며 국제 패널회의에 47회 참가하여 시추제안서 심사 및 과학계획 수립에 참여하였다. 이러한 국제 패널회의의 참석은 국제적인 시추제안서에 대한 주요한 과학적인 정보를 취득할 수 있을 뿐만 아니라 국제적인 전문가 그룹과의 교류활동이 가능해져 국제적인 네트워크 구성에 큰 도움이 되었다. 그리고 총 40개의 위탁과제를 수행할 수 있도록 지원하여 우수한 연구결과를 도출하였다. 2단계 사업이 시작된 2011년부터 현재까지의 연구 성과로는 국제학술지 논문게재 약 30편과 국내외 학술회의에 112편을 발표하였고 이중에서 Nature와 Science 등 국제 우수학술지에도 발표되었다. 또한 IODP 자료를 이용하여 8명의 석사 및 박사가 배출되었다. 우리나라가 지금까지 십수년동안 IODP에 가입함으로써 국내 전문가들이 국제적인 전문가로 발전하는데 크게 기여하였고 지속적인 참여를 통해 국내의 해양과학 수준을 세계에 홍보함은 물론 해양강국으로써의 위상확립과 우리나라의 국가 브랜드 가치를 향상시키는데 일조하였다.

4. K-IODP의 추진 방향

4.1 시추제안서 작성 및 제출

K-IODP 2단계에서 가장 핵심적인 사업목표중의 하나는 우리나라 주변지역과 전세계 대양을 대상으로 새로운 시추제안서를 작성하고 제출하여 최종적으로 채택되는 것이다. 그러나 시추제안서 제출로부터 채택되어 시추가 이루어지기 위해서는 평균 10년 내외의 시간이 요구되고 제안서 채택의 경우도 국제 전문가로 구성된 심사위원회에 의해 엄격한 심사를 통해 결정되기 때문에 쉬운 일이 아니다. 특히 시추제안서의 경우 전세계 관련전문가들로부터 시추가 필요하다라는 충분한 과학적인 근거를 제해야하기 때문에 우리나라 주변지역에 국한된 시추제안 주제를 도출한다는 것은 많은 어려움이 있다. 그렇지만 현재 우리나라 주변지역에 대한 시추제안 주제를 발굴하기 위하여 국내는 물론 국외 전문가들과 워크숍 및 세미나 등을 통해 지속적인 노력을 하고 있다. 현재 동해의 경우 동해의 형성 원인 및 그 이후 진화와 관련된 지구조부분과 울릉분지 사면의 산사태의 원인과 그 범위를 대상으로 하는 지질재해 분야의 시추

제안서를 고려하고 있다. 황해의 경우 지구조와 신생대 기후변화 사건, 그리고 해수면 변동과 연관된 주제 등에 대한 시추제안을 고려하고 있다. 특히 황해의 경우 중국 및 한국의 ICDP (International Continental Scientific Drilling Program)와 협력하여 시추제안서 작성을 추진하고 있다. 남해 및 오키나와 주변의 경우 이미 제출되어있는 보조시추제안서(Ancillary Project Letter: APL-777)의 시추 예정지점의 추가적인 물리탐사 자료(site survey data)를 확보하기 위해 일본과 협력할 것이며, 탐사비가 추가로 확보되면 자체 탐사를 수행할 계획이다. 이와 더불어 우리나라를 포함하는 서태평양 주변의 새로운 시추제안서를 제출하기 위하여 한국, 일본, 중국 및 대만이 참여하는 WEPAD (Western Pacific Drilling) 워킹그룹이 2013년 결성되어 1차 모임이 일본에서 개최되었고, 2차 모임은 2014년 5월 중국에서 개최되었으며, 3차 모임은 2015년 4월경 한국에서 개최하기로 결정하였다. 지금까지의 회의에서는 고해양 분야를 포함한 IODP 4대 연구주제에 부합되는 다양한 이슈들이 도출되었다. 현재 우리나라는 10명 내외의 관련 전문가들이 이 워킹그룹에 참여하고 있고 앞으로도 참여를 원하는 학자들에게 언제든지 개방되어 있다.

4.2 시추선 승선 및 후속연구

우리나라가 IODP에 가입함으로써 국내의 많은 관련 과학자들이 최첨단 시추기술과 실험실을 구비하고 있는 시추선에 승선하였고 이 분야의 선진과 학자들과 공동연구 기회를 가질 수 있었고, 또한 선진과학기술의 습득을 통해서 국제적인 전문가로서의 발전할 수 있게 되었다. 이는 국내 해양지구과학의 발전에도 크게 기여하였다.

K-IODP에서는 시추선 승선자 모집을 위해 K-IODP 홈페이지(www.kiodp.re.kr)를 통해 승선자를 공모하고 있으며, 한국해양학회와 대한지질학회에도 공고하고 있다. 각 대학의 관련학과에도 공지하여 관심있는 많은 전문가들이 참여할 수 있도록 기회를 제공하고 있다. 승선자 공모가 완료되면 K-IODP 조직에 포함되어 있는 분야별 전문가로 구성된 승선자 선정위원회에서 심사를 통해 우선순위를 정하여 IODP에 최종 제출한다.

New IODP에서 우리나라는 JR partner에 가입되어 있기 때문에 기본적으로 1년에 4명이 JR에만

승선할 수 있으며, JR과 ECORD의 양해각서 협정으로 인해 1명이 MSP에 승선할 수 있다. 아쉽게도 지금까지의 상황으로는 우리나라가 Chiky partner에 가입하지 않는 한 치쿠호 승선은 불투명한 상태다. 그러나 한국이 Chiky의 승선을 원할 경우 미국의 슬롯(slot)을 제공받아 승선기회를 가질 수는 있지만 이와 관련되어 미국과 공식적인 협정을 진행해야 한다. 호주는 JR 및 Chiky partner에 모두 가입하고 있으며 미국과 유럽의 경우 일본과의 양해각서를 통해 승선할 수 있도록 협약하였다. 일본의 경우 아시아 국가인 한국이 Chiky partner에 가입하기를 기대하고 있으며, JR에도 승선할 수 있도록 기회를 제공할 것을 제안하고 있다. K-IODP에서도 가능한 미국 및 일본의 파트너로 가입하기를 기대하고 있으나 예산상의 어려움은 물론 일본과의 국제적인 관계 등에 있어서 복잡한 문제가 내재되어 있어 향후 더 많은 논의가 필요한 상태이다.

K-IODP에서는 가능한 많은 한국인 전문가들이 IODP 시추선에 승선하여 국제적인 연구를 수행할 수 있도록 지원할 것이며, 이를 위해 IODP와 다각적인 협력관계를 유지할 것이다. 또한 경쟁력 있는 전문가가 승선할 수 있도록 관련 대학 및 연구소에 적극적인 홍보활동을 할 것이다. K-IODP에서는 승선이 결정되면 승선준비에 필요한 모든 경비를 지원하고, 규정에 따라 항공료를 포함한 출장비를 지원한다. 그리고 승선 후에도 시추시료를 이용하여 연구를 지속적으로 수행할 수 있도록 기본적으로 2회에 걸쳐 연구비를 지원하고 있으며, 더 좋은 연구결과가 예상된다면 추가적인 지원도 가능하다. 이러한 지원형태는 타 국가들에 비해서는 매우 유리한 조건이다. 예를 들어 미국의 경우 승선 후 시추시료를 이용한 연구에 1만불 내외를 1회에 국한하여 지원하고 있고 그 이후의 연구는 미국 국립연구재단에 신청하여 지원받아야 한다. 이러한 이유는 IODP에서 얻은 시료와 자료의 경우 그 가치와 질적인 수준이 우수하기 때문에 연구주제만 잘 결정한다면 국립연구재단으로부터 연구비를 지원받을 수 있기 때문이다.

4.3 기존 시추자료 활용 연구

기존시추자료를 활용한 연구는 ODP/IODP 등에서 취득한 기존의 시추시료를 이용한 연구에 해당되며 시추선 승선 후 많은 기간이 지났거나 시추선

승선을 하지 않고 시추시료만 IODP에 신청하여 선정되었을 경우의 연구를 의미한다. 특히 이 부분은 고기후 및 고해양을 연구하기 위한 기반연구를 포함한다. K-IODP의 주관기관인 한국지질자원연구원에서는 시추선 승선 후 2년의 연구비 지원을 기본적으로 하고 있다. 그 이후 추가적인 연구가 필요하거나 기존의 시추시료가 확보된 경우에는 한국해양과학기술원에서 수행하고 있는 기존 시추자료 활용연구에서도 지원하고 있다.

4.4 후진양성 및 해양지구과학 홍보

New IODP에서 중점분야로 추진하고 있는 후진양성과 해양지구과학 홍보분야의 경우에도 K-IODP는 적극적으로 추진할 것이다. 앞에서 설명한 바와 같이 후진양성을 위해 매년 K-IODP Summer School을 New IODP 연구주제에 맞추어 실시할 것이며, 국내외 관련 전문가를 최대한 강사로 초빙하여 심도 있는 교육을 준비할 것이다. 특히 이 교육을 이수한 학생이 IODP 시추선에 승선하였을 경우 아무런 문제없이 승선연구를 수행할 수 있도록 교육할 것이다. 또한 대학원 교육 및 그 이후 관련분야에 취업하였을 때도 본 교육내용이 도움이 될 수 있도록 교육방법을 지속적으로 개선할 것이다.

해양지구과학은 다른 학문에 비해서 일반대중에게 잘 알려지지 않은 분야이다. 따라서 해양지구과학의 홍보를 위해 해양 엑스포나 해양수산과학기술대전 등에 홍보부스 설치나 성과발표를 통해 해양지구과학의 중요성을 알릴 것이다. 또한 관련 전문가들도 지속적인 관심을 가지고 동참할 수 있도록 해양 및 지질관련 학회에 홍보부스 설치와 특별세션 등을 통하여 해양지구과학의 중요성을 알림으로써 학문발전에 기여하고자 한다.

5. 결론

IODP는 DSDP부터 시작하여 ODP에 이어 현재까지 세계 26개국이 가입되어 45년 이상 지속되어온 국제해양탐사프로그램이다. IODP는 해양지구과학분야의 기후 및 해양 변화, 생물권 프론티어, 지구연결 및 생동하는 지구 등에 대한 미해결 문제를 해결하기 위해 전세계 대양을 대상으로 과학시추를 수행하고 있는 거대과학을 연구하는 프로그램이다. 그리

고 이 분야의 미래를 준비하기 위하여 교육 및 아웃리치에도 다양한 프로그램을 개발하여 운영하고 있다. 우리나라는 1996년부터 참가하고 있으며 2006년부터 해양수산부 지원하에 공식적으로 가입한 후 2011년 11월부터 IODP 2단계 사업에는 한국지질자원연구원이 주관기관으로 한국해양과학기술원이 협동기관으로 참여하여 진행중에 있고 현재까지 총 35명이 IODP 시추선에 승선하여 연구를 수행하였다. 2013년에는 우리나라가 IODP에 가입한 후 처음으로 우리나라 배타적경제수역 내 1개 정점을 포함하는 동해에 대한 시추가 이루어져 우리나라의 해양과학수준을 세계에 알리고 전국민들에게도 해양과학의 중요성을 홍보하는 계기가 되었다. K-IODP는 새로운 2단계 사업을 통하여 국내의 전문가들이 보다 적극적으로 IODP에 동참함으로써 국제적인 전문가로 발전할 수 있는 계기를 마련하고 이를 통하여 국내 해양지구과학의 획기적인 발전을 기대한다. 끝으로 우리나라가 IODP에 지속적으로 참여할 수 있도록 노력하여 과학입국으로써의 위상확립과 해양분야의 국제무대에서 한국의 브랜드 가치를 높이는 데 일조하고자 한다.

사 사

이 논문은 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원이 지원하는 “국제해저지각시추사업”의 일환으로 수행되었다.

REFERENCES

- Devey, C.W., Fisher, C.R. and Scott, S., 2007, Responsible science at hydrothermal vents. *Oceanography*, 20(1), 162-171.
- Expedition 319 Scientists, 2010, Methods. In D. Saffer, L. McNeill, T. Byrne, E. Araki, S. Toczko, N. Eguchi, K. Takahashi, and the Expedition 319 Scientists. *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, 319*, Tokyo, Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., doi:10.2204/iodp.proc.319.102.2010.
- Kim, G.Y., Chang, S.W. and Hyun, S.M., 2012, Integrated Ocean Drilling Program: Goal and progress direction of second phase. *Annual Conference of the Geological Society of Korea (Abstracts)*, Jeju, October 26-29, 139 p (in Korean).
- Kim, G.Y., Chang, S.W. and Hyun, S.M., 2013a, Illuminating Earth's Past, Present, and Future: New IODP (20103-2023) science plan and IODP Exp.346 in the East Sea. *Annual Conference of the Oceanographic Society of Korea (Abstracts)*, Jeju, May 23-24, 2660 p (in Korean).
- Kim, G.Y., Chang, S.W. and Hyun, S.M., 2013b, Scientific Drilling in the East Sea/Japan Sea (IODP Exp. 346) and Busan Port Call. *Annual Conference of the Geological Society of Korea (Abstracts)*, Jeju, October 23-27, 78 p (in Korean).
- Kim, G.Y., Chang, S.W., Hyun, S.M. and Lee, Y.J., 2014, Current status of Korea IODP project and strategy for making drilling proposal around Korean Peninsula. *Annual Conference of the Oceanographic Society of Korea (Abstracts)*, Busan, May 22-23, 32 p (in Korean).
- IODP, 2013, Illuminating Earth's past, present, and future. *Science plan for 2013-2023*, p. 84.
- Lee, Y.J., Lee, S.I. and Kim J.H., 2006, Current status and activities of Korean Integrated Ocean Drilling Program (K-IODP). *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 657-671 (in Korean with English abstract).
- Orcutt, B.N., Bach, W., Becker, K., Fisher, A.T., Hentscher, M., Toner, B.M., Wheat, C.G. and Edwards, K., 2010, Colonization of subsurface microbial observatories deployed in young ocean crust. *The ISME Journal*, doi:10.1038/ismej.2010.1157.
- Ross, S.W., 2007, Unique deep-water ecosystems off the southeastern United States. *Oceanography*, 20(4), 130-139.
- Schoof, C., 2010, Beneath a floating ice shelf. *Nature Geoscience* 3, 450-451.
- Vanreusel, A., Andersen, A.C., Boetius, A., Connelly, D., Cunha, M.R., Dekker, C., Hilario, A., Kormas, K.A., Maignien, L. and Olu, K., 2009, Biodiversity of cold seep ecosystems along the European margin. *Oceanography* 22, 110-127.

투 고 일 : 2014년 8월 18일

심 사 일 : 2014년 8월 20일

심사완료일 : 2014년 10월 3일