

해양과학기술의 개발동향과 과제

朴 在 赫¹⁾

해양과학기술은 협소한 육지의 공간문제를 극복하고, 부족한 부존자원의 해소를 위한 새로운 자원의 보고로서, 또한 삼면이 바다인 우리나라의 입지조건을 최대한으로 활용하기 위해 개발이 요구되는 중요한 분야이다. 해양개발을 위해서는 해양자원의 효율적인 채취 및 활용, 해양환경의 보존, 해상교통수단의 개발 및 연안개발의 활성화, 해양공간의 확보 등을 위한 기술개발이 필요하다. 아래에 해양신물질추출, 조력발전, 해양온도차발전 및 수중 로봇 기술에 대한 선진국과 우리나라의 기술개발동향과 기술개발과제를 정리하였다.

1. 해양신물질 추출

1. 기술개발의 중요성

지구상에 서식하는 대부분의 생물은 체내 대사작용의 결과로 생성된 다양한 유기물질을 함유하고 있으며 이들 천연물로부터 신물질 및 유용물질을 개발하는 연구는 정밀화학과 생명공학의 핵심분야로서 신의약품의 개발 등 고부가가치 산업의 필수 기반기술이다.

미국, 일본을 비롯한 선진국에서는 '60년대 초부터 해양 생물을 유용물질의 중요한 원천으로 인식하고 기초 및 응용 연구에 많은 연구투자를 하여 왔다. 그 결과 상대적으로 짧은 기간에 이미 7000종 이상의 신물질이 발견되었으며 80여 물질에 대한 특허가 출원되었다. 이들 중 상당수가 현재 의약품, 건강식품, 화장품 등으로 개발 중이며 수종의 선도물질은 이미 시판되고 있거나 5년내 상용화가 이루어질 것이며, 10여종의 물질은 이미 생리, 병리 등의 연구를 위한 실험용 약품으로 이용되고 있다. 해양생물유래 신물질 및 유용물질의 산업적, 학문적 중요성은 지속적으로 증대하고 있으며, 가까운 시일 내에 육상생물 유래 물질을 압도할 것으로 보는 견해까지 등장하고 있다.

2. 국내외 연구개발 현황

1) 선진국의 연구개발 현황

지난 30여년간의 막대한 연구투자로 선진국의 해양신물질 연구는 학문적인 면에서 이미 성숙기에 진입하였으며('95년의 경우 450편 이상의 연구논문 발표) 질적인 면에서 육상천연물을 압도하고 있다. 그러나 신물질 및 유용물질의 산업화는 학문적 발전에 비하여 상당한 격차를 나타내어 산토닌, agar, carragenan, alginic acid 등 예전부터 이용되어 온 수종의 물질과 10여종의 실험용 시약 및 '95년에 시판되기 시작한 소염제 pseudopterosin을 제외하고는 20여종의 유용물질이 임상실험 및 대량생산 방안을 연구중에 있는 정도이다.

미래의 해양신물질 연구는 생물로부터 천연물을 추출하는 전통적인 연구가 앞으로 상당기간 지속될 것이나 약화학 생물유기화학 등으로 연구 영역이 확대될 것이다. 또한 천연물의 산업화 및 생리활성 신물질의 대량생산 등 응용호 연구에 노력이 집중될 것으로 전망된다. 특히 해양생물의 대량 양식, 공생미생물의 대량 배양 등 생명공학적 기법의 응용이 활성화 될 것이다.

미래 해양신물질의 연구대상 생물은 해면, 강장, 원색동물 등 저서군체동물과 단세포조류 및 방선균, 진균 archaeobacteria 등 미생물이 될 것이며 다차원 NMR 등 분석기기의 발달로 소형 유기물질 외에 유용효소 polysaccharides, glycoproteins 등 수용성 고분자물질의 중요성이 증가할 것이다. 연구대상지역은 인도양 등 현재 연구가 미비한 지역과 극한지와 심해 등 특수환경으로 확대될 것이며 특히 남극은 기존의 해양천연물과는 상이한 구조와 생리 활성도를 가진 해양신물질의 새로운 보고로 각광을 받을 것이다.

① 미국

현재까지 해양생물 유래 신물질 및 유용물질에 대한 연구를 주도하고 있는 국가는 미국이며 미래에도 상당기간 이리

한 추세는 계속될 것이다. 현재 미국에서는 21세기를 주도할 미래과학으로서 생명공학의 중요성을 강조하고 있으며 그 중 한 분야로 해양 생명공학 분야를 꼽고 있다.

미국의 해양생물 유래 신물질 개발연구는 NIH와 National Sea Grant College Program 등에 의하여 주로 지원되고 있다. NIH와 그 산하 국립암연구소(NCI)에서는 항암제, 결핵치료제 등 특정효능을 가진 물질의 개발에 주도적인 역할을 하고 있다. NCI에서는 '88~'91년간 항암제의 개발을 위한 36,000여 동 식물과 미생물에 대한 screening 작업을 수행했으며 그 중 35%가 해양생물이었다. 또한 해양 이끼벌레로부터 분리된 강력한 항암물질 bryostatins의 대량생산 및 산업적 개발을 위하여 California 대학과 공동연구를 추진하고 있으며 항암물질 halichondrin을 생산하는 해면동물의 대량양식을 추진하고 있다.

NIH/NCI가 대형 연구과제 중심으로 특정목적의 신물질 개발에 참여하고 있는데 비하여 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA) 산하의 National Sea Grant College Program에서는 대학 및 이와 연계된 민간연구진의 장기적인 기초 및 응용연구를 지원하고 있다. 이 program은 1966년에 시작되었으며 26개 주정부와 연계하여 연간 350만불 이상을 50여개 대학 연구진에 지원하고 있다.

상기 program 이외에도 Marine Bio technology Center of University of California-Santa Barbara, Scripps Institution of Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institute, Harbor Branch Oceanographic Institution 등 대형 연구기관과 우수한 모험기업들이 정부기관의 지원하에 과제를 수행하고 있으며 Allergan, American Cyanamid Bristol-Myers & Squibb, Merck, Shering-Plough, Synthex, Smith-Kline 등 거대제약 기업에서도 독자적 혹은 산·학·연 공동으로 해양신물질 개발 및 산업화 연구를 수행하고 있다.

② 일본

일본에서의 천연물을 비롯한 해양 생명공학연구는 '80년대 이후 상당부분 정부 주도하에 연구가 수행되고 있으며 통산성, 과학기술청, 농림수산성 등 관계기관에서 지원하는 총 규모는 '92년의 경우 2억 달러에 달하여 미국을 훨씬 능가하고 있다. 중요과제로 통산성에서는 Marine Communitypolis 구상에 속하는 '해양생물로부터 고기능 정밀화학제품의 연구개발'(NEDO, '90년 12억엔, '88년부터 7년간 150억엔 예정) 과제를 중점적으로 수행하고 있으며 이와 관련하여 해양생물의 산업적 이용에 관한 연구센터를 건립, 운용하고 있다. 과학기술청에서는 '71년에 건립한 일본 해양과학기술센터(JAMSTEC)를 중심으로 Aquamarine 계획하에 심해 미생물의 산업적 이용(7.9억엔), 농림수산성의 Marine Vision 계획 및 Marine Frontier Project 등 해양생물로부터 유용물질을 개발하는 중요 과제를 다수 수행하고 있다. 민간연구개발조직으로는 300여개 기업과 15,000여 대학내 연구원으로 구성되어 공동으로 인적자원 개발, 정보교환 계획수립 등을 담당하는 생물공업개발센터(BIDEC)와 '88년 24개 민간기업이 연합하여 설립한 해양생물공학연구소(MBI) 등이 있으며 특히 해양생물공학연구소는 '88년부터 "Fine Chemicals from Marine Organisms" 프로그램을 통하여 해양신물질 개발에 직접 참여하고 있다. 이 기관과 동경대 공동으로 설립된 Fusetani Biofouling Project의 업적은 이미 널리 알려져 있으며 기타 Mitsubishi, Sankyo, Santory 등 민간기업에서 독자적으로 유용물질연구를 수행하고 있고 벤처기업도 다수 참여하고 있다.

③ 호주, 러시아 및 기타 국가

호주는 미국, 일본, 이태리와 더불어 초기의 해양천연물 연구를 주도한 국가이다. 특히 Townsville에 공공연구소인 해양과학연구소(AIMS)가 설립되어 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. AIMS는 호주정부의 적극적 지원하에 Indonesia 등 ASEAN 국가에 진출하여 암예방 등의 생리활성 신물질과 기능성 유용물질에 대한 연구를 수행하고 있다.

러시아에서의 해양생물 유래 유용물질에 대한 연구는 과학 아카데미 극동 branch 산하의 Pacific Institute for Bioorganic Chemistry(PIBOC)에서 주도하고 있다. 주요 연구대상은 소형 유기물질외에 다당류와 효소제 등이며 다양한 해양생물 시료의 채집을 위하여 열대 태평양 등 외국의 해역까지 영역을 넓히고 있으며 연구비의 원활한 조달을 위하여 국제공동 연구를 시도하고 있다.

기타 이탈리아, 프랑스는 대부분 소규모 장기 project 차원에서 연구를 수행하고 있다. 특이한 예는 Spain의 PharMar사로서 '80년대 초반 해양 유용물질에 대한 민간 전문기업으로 많은 활약을 하던 Sea Pharm사가 활동을 중단한 뒤 Sea Pharm의 Spain branch가 독립하여 설립되었으며 해양유래 신의약품 개발 기업으로서 최근 상당한 연구결과를 얻고 있다.

2) 국내의 연구개발 동향 및 기술수준

현재까지 국내에서 이 분야에서 수행완료 혹은 수행 중인 중요 연구과제는 한국근해 저서군체 생물의 천연물 연구 해양미생물로부터 EPA생산, 해양생물로부터 신물질 및 유용물질개발, 해양천연물로부터 효소저해제 탐색, 적조독성 물질연구 등이다.

해양신물질의 전문 연구기관인 한국해양연구소에서는 저서군체 동물로부터 30여 신물질을 분리, 구조를 결정한 바 있으며 이들 중 생리활성도가 우수한 pectenotoxin-II(항암), suberitenone B(고지혈증 억제), solandelactones C G(효소저해)등의 물질에 대한 후속연구를 수행 중이다. 또한 고지혈증 억제, 심장질환 예방, 항암 등 다양한 생리활성 효과를 가진 EPA, DHA 등의 대량생산연구에서 이미

<표 1> 해양신물질 연구과제 및 주요연구내용

세 부 과 제	주 요 연 구 내 용
생리활성 신물질 개발 (신규 효소저해제, 항진균제, 항바이러스제 개발)	해양생물의 채집 및 배양, 신물질 분리 및 구조결정, 생리활성도 측정 및 신규 검색체계 확립, 천연물로부터 생리활성 유도체 합성, 신물질 추출, 대량 생산 방법 개발
유용요소 및 기능성 고분자물질 개발	해양생물의 채집 및 배양, 유용물질 분리 및 구조결정, 생화학적 특성 분석, 산업적 이용방법 개발, 대량 생산
불포화지방산 제제 개발	해양생물의 채집 및 배양, 물질 분리 및 구조결정, 유도체 합성 및 신기능 도출, 대량 생산, 대량 추출 및 산업화

EPA를 대량 생산하는 균주 수 종을 분리한 바 있다. 적조 플랑크톤에 대해서도 해양연구소, 부산수산대, 수산진흥원 등에서 비교적 많은 연구노력을 기울여 왔으나 플랑크톤의 순수 대량 배양등의 어려움으로 인해 우수한 결과를 낳지 못하고 있다. 그 외에도 부산수산대, 성균관대, 순천향대, 경상대, 영남대, 경성대 등의 대학에서 소형 유기 천연물과 생리활성 당단백질, 기능성 다당류 등에 대한 연구를 하고 있다.

국내의 신물질 연구수준은 거의 모든 단위기술에 있어서 선진국에 비하여 상당히 낙후되어 있다. 뿐만 아니라 연구층이 대단히 얇아 수개 세부분야(예: 신물질의 구조 결정, 해면, 강장 동물의 분류, 유전공학기법에 의한 대량생산 등)에서는 국제 수준의 국내의 전문가가 1~20이에 불과하다. 또한 연구진간의 연구능력 편차가 심하며 연구가 해양 신물질이 아닌 육상생물 기원물질에 편중되어 있으므로 연구인력의 확충과 재교육이 필요하다.

3. 기술개발과제 및 내용

연구과제로서 신물질의 생리활성은 효소저해, 항진균 및 항바이러스 등을 목표로 하는 것이

바람직 하다. 대표적인 일반 생리활성인 항암활성 및 세포독성은 물질의 개발가능성이 낮아 점차로 기피하는 것이 최근 세계적 경향이므로 보조적인 연구개발이 바람직하다. 항진균 활성은 진균 자체에 의한 질병뿐만 아니라 면역조절의 보조기능, 항AIDS제제의 보조기능 등으로 최근 국제적으로 다시 관심이 집중되고 있으며 항바이러스 활성은 AIDS등 근래에 창궐하는 질병에 대한 범세계 의·약학계의 관심 대상이 되고 있다.

이중 생리활성 신물질, 신규효소저해제, 신규 항진균제, 항바이러스제 등의 세부과제는 생리활성도의 측정을 제외한

대부분의 연구과정이 동일 혹은 유사하며 동일한 시료로 함께 추구하는 것이 가능하므로 연구비의 규모에 따라 생리 활성 신물질 개발연구로 통합하는 것이 연구효율을 극대화시킬 수 있다.

II. 조력발전기술

1. 기술개발의 중요성

우리나라는 에너지원의 80% 이상을 수입에 의존하고 있으므로 세계적인 조력발전입지를 보유하고 있는 우리로서는 조력발전에 관한 적극적인 연구가 필요하다. 또한 국토가 협소하고 기타 부존자원도 빈약한 우리나라로서는 해양공간을 효율적으로 개발해야 할 필요가 있으므로, 다른 국가들과는 달리 발전단일목적이 아니라 복합목적의 조력발전 연구가 필요하다.

우리나라는 경기만에 세계적인 조력발전 입지들을 보유하고 있음에도(수심 20~30m 이내에서 연간 개발가능 부존에너지 약 120,000GWh 이상 추정), 가로림 조력발전 타당성 연구시에 1차적인 발전에너지만을 고려하여 수행한 기존의 경제성 평가에서 B/C 1.0을 훨씬 상회하지 못했다는 이유로, 조력발전의 건설을 유보해야 한다는 시각이 만연해 있다. 그러나 최근의 검토결과 '90년도부터 연료비 실질상승율이 연 3%에 이르러, 2010년경에는 원유가가 \$32.5/Barrel에 이를 것으로 전망되어, 조력발전의 경제성이 높아질 것으로 예측된다. 조력발전소를 건설하면, 방조제로 인하여 정온수역이 확보되고, 조지내에 대수심이 확보되므로 중규모 갑문식 항만의 최적조건을 제공하게 된다. 따라서 발전단일목적의 발전소 건설에 비하여 갑문식 항만형 조력발전소를 건설할 경우 경제성은 월등히 향상될 것이다. 차후, 중국과의 교역량이 증가하게 되면 이에 대한 경제성은 더욱 증대될 것이다. 또한 조지내에 좋은 수산양식환경이 조성되며, 세계적으로 몇 안되는 시설물로서 많은 국민들의 반응을 기대할 수 있고 교육적인 측면에서도 효과가 있어 훌륭한 관광지로서의 역할도 기대할 수 있다. 1993년의 한국해양연구소 조사에 의하면 가로림만을 발전단일 목적으로 개발할 경우 B/C가 0.84가 되며, 수산양식, 관광지 개발 등을 포함하는 다목적 개발을 시도하는 경우 B/C가 1.57까지 올라가는 것으로 되어 있다.

지금까지의 국내 조력발전 연구는 주로 가로림만을 대상으로 수행되어 왔으며, 정작 가장 조차가 큰 경기만의 여러 후보지에 대해서는 1978년도에 개략 검토가 이루어진 이후 규모가 크고 휴전선에 인접해 있다는 이유로 정밀조사가 실시되지 않고 있다. 현재 서해안에는 새만금지역개발, 군장지구개발, 시화지구개발, 영종도 신공항 건설 등 대규모 매립이 계획, 시행되고 있다. 이러한 대규모 해안매립은 경기만 일대 조력발전 후보지의 조석체계에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되며, 이를 고려하지 않고 연안개발을 계속할 경우 유망한 조력발전 후보지들을 상실할 가능성이 있다. 따라서 현재 공사가 완료 또는 진행 중이거나 계획 중에 있는 매립지들의 영향을 고려한 경기만내 여러 후보지들의 조석체계변화 및 조력발전시스템 최적화에 대한 연구가 필요하다.

2. 국내외 연구개발 현황

1) 선진국의 연구개발 현황

캐나다에서는 대서양 연안 Fundy만 내의 Annapolis 강 입구에 20MW급 Straflo형 터빈 1대를 설치한 시험 조력발전소가 1984년부터 가동 중이다. 이 터빈은 스위스 Zurich의 Escher Wyss, Ltd.가 설계하여 캐나다 Montreal의 Dominior Bridge-Sulzer, Inc.에서 제작하였으며 낙차 1.4m 이상에서 발전을 시행하고 있다. 또한 Fundy만 내의 Minas Basir에 시설용량 4,000MW급 발전소 건설을 검토하고 있다.

프랑스는 불란서 북서 해안의 St. Malo의 Rance 강 하구에 10MW급 Bulb형 터빈 24개를 설치한 시설용량 240 MW의 상업발전소가 1966년 완공되어, 95%의 가동률로 연간 554GWh의 전력을 생산하고 있다. 이 발전소의 건설로 인하여 급속재료의 해수에서의 방식 기법에 괄목할만한 발전을 이루었으며 발전소는 유명한 관광지로 각광받고 있다. 또한 북서해안의 Chausey도 일대에 시설용량 6,000 MW의 대형 발전소의 타당성을 검토하고 있다.

러시아에서는 Murmansk 북쪽 Ura만에 시설용량 800 kW의 시험발전소가 1968년부터 가동 중에 있다. 터빈은 프랑스의 Neyrpic사가 제공하였으며, 방조제는 세계최초로 부유식 케이슨 공법으로 시공되었다. 1985년에는 백해연안에 시설

용량 15,000 MW의 세계 최대 발전소 건립계획을 발표하였으나 추진상황은 명확히 밝혀지지 않고 있다. 이 외에도 오호츠크해의 Tugar만, Penzhinskaya만 등에 대한 타당성을 검토하는 단계에 있다.

중국은 상해 남쪽 Leging만에 시설용량 30MW의 단조지 복류식 Jiangxia 발전소가 1980년도부터 가동되기 시작하였으며, 현재 시설용량 275MW의 Xiamen 발전소를 설계중이다. 1981년에 500kW이상 개발가능한 156개만, 33개 하구에 대한 검토가 있었으며, 현재 8개의 중·소 규모의 발전소가 있고, 최근에는 추가로 2개소에서 타당성을 검토하고 있다.

영국에서는 최근 낙차 0.5~3m의 저낙차 터빈을 개발하여 North Scotland의 Spanish에 270kW급 시험발전소를 건설중이며, 영국 서해안의 Severn 강 하구에 21세기 영국 전 전력수요의 5%를 담당시키기 위하여 시설용량 8,640MW의 대규모 발전소의 타당성 검토를 끝내고 현재 방조제에 사용할 재료 연구 및 케이슨 수문, 터빈 부품 등을 설계하고 있다. 또한 중서부 Meraey Estuary에 시설용량 약 500~600MW 발전소에 대한 타당성을 검토 중이다.

2) 국내 연구개발 현황

우리나라의 서해안 중부, 경기만 일대의 조력자원을 개발하기 위한 시도는 이미 1920년대부터 시작되어 조선 총독부에 의해 예비검토가 실시된 바 있고 이후 간헐적인 조사검토가 계속되어 왔으나 본격적인 조사는 한국전력(주)의 주관하에 1970년대 후반부터 시작되었다.

1976년에는 가로림만 조력발전 예비 타당성 조사가 선박해양연구소에 의해 수행되어 간단한 현장조사를 통한 조석특성 파악과 수심 및 지질조사가 이루어 졌다. 1978년에는 조력발전 부존자원 기초조사가 캐나다 Shawinigan사와 해양연구소에 의해 수행되었으며 이를 통해 10개 후보지에서 약 650만kW의 조력부존자원량을 확인하였다. 1981년에는 가로림만 조력발전소 건설 타당성 조사가 불란서 Sogreah사와 해양연구소에 의해 이루어져 최초로 가로림만의 정밀해양조사가 실시되었으며 경제성 평가에서 B/C 1.0을 상회하였다. 1986년에는 영국 Eng. & Power Dev.사와 해양연구소에 의해 가로림 조력지점 후속조사 및 기타조사가 실시되었으며 조사결과 연료비의 하락(\$10/Barrel 수준) 및 건설공사비의 상승 요인으로 인해 조력발전의 개발 경제성이 미흡한 것으로 평가되어 개발이 보류되었다. 1993년에는 가로림 조력개발 타당성 조사가 한국해양연구소에 의해 실시되었으며 발전 단일목적인 경우 B/C 0.84, 다목적 개발의 경우 B/C 1.57로 판명되었다.

3) 기술개발과제 및 내용

- 조력체계 예측 software 개발 및 후보지 특성평가: 조석, 조류 등의 기존 관측자료를 분석하고, 수치모델 기법개발을 통하여 경기만을 중심으로 한 서해안 일대의 현 조력체계를 파악하고 서해안 개발 및 발전소 건설에 따른 조력체계변화를 예측하여 지점별 조력 에너지 특성을 파악한다. 각 후보지별 특성파악을 통해 입지여건을 종합적으로 분석, 적정 조력개발 입지를 선정하여 입지별 조력발전 부존량을 산출한다.
- 조력발전 최적화 기법개발: 발전의 대규모화에 따라 수차, 수문 등 발전소 주요 구조물의 평면배치, 조지의 단조지 복조지식, 발전의 단류식 복류식 또는 양수식 등의 방법 중에서 최근기술동향 및 경기만의 여건을 고려하여 최적발전기법을 선정한다.
- 경제적 대수심 방조제 설계기술 개발: 방조제는 서해안 외곽에 설치되므로 기존 국내 시공 방조제보다 대수심 구조물이 될 것으로 예상된다. 따라서, 단면 크기가 작고도 방조·방파기능이 우수한 발전소 구조를 개발하고, 수리실험을 통해 성능을 입증한 후 이를 이용하여 공사기간을 단축하며 총체적인 경제성을 제고한다.
- 발전소 기본설계: 발전소의 기본설계는 국내 기술로 독자수행이 가능하며 따라서, 시설용량 및 연간 발전량 산출과 방조제, 수차·발전기, 수문의 배치 등을 설계용역회사, 연구소 등이 공동으로 수행하는 것이 바람직 하다.
- 조력발전의 최적 전력계통 인입기법개발: 조력발전의 전력 생산은 단속적이므로 기존 전력 계통과의 연계가 필수적이며 따라서 조력발전의 효과적인 계통인입을 위한 조력발전 운영자동화software 개발이 필요하다.

- 환경영향평가 및 피해 저감기술 개발: 발전소 내외의 수위 및 유량 변화, 침식 및 퇴적 환경변화예측을 통해 생태계 변화 등의 피해를 최소화할 수 있는 기술을 개발한다.
- 경제성 분석: 조력발전에서의 경제성 분석은 전력대체효과 분석 외에도 항만개발, 방조제의 도로이용효과, 지역사회발전 및 고용효과, 수산양식 증산효과, 관광객 유치효과 등을 종합적으로 검토하여 개발 우선순위 결정한다.

III. 해양온도차 발전기술

1. 기술개발의 필요성

해양은 공해가 없고, 고갈되지 않는 엄청난 에너지를 가지고 있기 때문에 지구온난화 및 대기오염을 줄일 수 있는 대체 에너지원으로 큰 기대를 모으고 있다. 해양에너지 이용기술로서 각광을 받고 있는 해양온도차 발전기술은 주요 선진국들이 이미 시험적인 연구와 상업용 설비까지 운영하고 있으며 설비규모는 100MW 정도이다. 해양 에너지원에서 추출할 수 있는 전력은 전세계 인류 총 에너지 소비의 200배를 초과하고 있으며, 앞으로 환경 문제가 더욱 중요한 과제로 대두될 것을 생각할 때 우리도 이에 대한 기술개발이 필요할 것이다.

2. 국내외 연구개발현황

해양온도차 발전기술(OTEC)에 대한 연구개발은 국내에서는 거의 전무한 상태이고 주로 미국과 일본에 집중되어 있다. OTEC 발전의 개념은 100여년전 프랑스의 Jacques Arsened' Arsonval에 의해 처음 제안되었다. 그 후 1930년 쿠바 북쪽의 마담자스만에서 22kW짜리 모형실험이 이루어졌으며, 1956년에는 아프리카 서부해안에 프랑스 팀이 3MW 프랜트를 설계하였다. 1960년대에 들어 J.Hilbfrt Anderson은 OTEC시스템의 체계적인 설계를 시작하였으며, 1970년대 초기에는 카네기멜론대학의 Clarence Zener가 연구에 참여 하였다. 1972년 미 과학재단은 OTEC의 기술적, 경제적 가능성을 평가한 메사추세츠대학에, 다음해에는 OTEC 시스템의 요소들을 연구한 카네기멜론대학에 연구비를 지원했다. 1973년 오일파동으로 인해 OTEC의 잠재 가능성이 재검토 되었으며, 1979년에는 closed 사이클 OTEC-1이 설치되어 그 성능이 테스트되었다. 이 두 실험에서 심해수의 풍부한 영양과 상대적인 무병원균성의 이유로 OTEC 발전기술의 다양한 이용가능성을 볼 수 있었다.

현재 개발 중에 있는 OTEC발전기술은 기본적으로 Closed 사이클, Open 사이클, Hybrid 사이클의 3가지 종류가 있다. 1986년에는 하와이 대학에서 Open 사이클 OTEC 연구를 시작하였으며 1991년의 Open 시스템의 기공식에 이어 1993년 봄에는 총 200kW의 전력을 생산하게 되었다. 현재는 상용 크기의 프랜트설계까지 가능한 운전 자료와 실험 자료들을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 이 계획은 미 에너지성과 하와이주가 공동지원하고 있으며, 1993년에는 민간 컴소사업이 유사한 Closed 사이클 파이롯 플랜트 건설을 착수하였다.

일본은 1974년 선사인 프로젝트 일환으로 Closed 사이클 OTEC(CC OTEC)을 시작하였고, 1981년에는 100kW CC OTEC 프랜트가 세워졌으며, 동경 전력회사가 주도한 컨소시엄으로 나우루 공화국에서 실험되었다. 다음해 구주 전력회사가 토쿠노시나에 50kW급 CC OTEC 건설계획을 세웠으며 1985년에는 사가대학에서 75kW급 열동력 시뮬레이션 프랜트를 작동시키고 시코쿠섬에서의 양식 실험으로 0.125m 냉수 파이프 계획을 완수했다. 대만에서도 최근 OTEC상용화 계획을 위해 Pacific International Center for High Techbology Research를 지원하였으며 첫 단계로써 대만 동해에 5MW급 CC OTEC 파이롯 프랜트가 제안되었다. PICHT가 후원하고 대만 해양학교가 주최한 Artificial upwelling workshop0 1989년 6월에 개최되었다.

이와 같이 OTEC 발전기술은 해양으로 눈을 돌려야하는 21세기 인류에게 청정 에너지, 안전에너지를 공급하는 주요 에너지원이 될 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 선진국에서는 전력과 담수 생산에서 OTEC이 기존의 기술과 경쟁력이 있다는 연구결과들이 계속 발표되고 있다. 전력과 담수의 생산단가가 디젤 프랜트 보다 적게 들 수 있는데 1MW급 및 100MW급의 지상형 Open 사이클 OTEC 프랜트로써 가능하게 된다. 지상형 Hybrid OTEC 프랜트는 증발기를 사용하여 담수를 얻고 암모니아를 이용해 전력을 생산하며, 50~100MW 혹은 그 이상의 해상 OTEC 전력 프랜트를 이용할 경우 전력을 해저 전력 케이블로 해안까지 보낼 수 있다. OTEC이 가격 경쟁력을 지니기 위해서는 기존연료에 대한 등가비용은, 해안으로부터 10km에서 200km범위에 정박되어 있는 프랜트에 대해, 표 2와 같이 오일 값 20~55달러 범위

서 경쟁력을 가질 수 있다고 보고 되고 있다.

3. 기술개발 과제 및 내용

해양온도차 발전시스템을 국내에서 실용화하기 위하여서는 먼저 실용화의 단계에 도달한 선진국의 기술에 대한 조사와, 더욱 발달된 시스템에 대한 연구개발이 병행되어야 한다. 그 다음 실용시스템을 설계하고 환경 영향을 측정하여야 하며, 시범 플랜트가 설치되고 운전되어야 한다.

기술개발은 1차로는 소형 OTEC 플랜트 제

〈표 2〉 OTEC의 경제성 시나리오

Nominal Net Power, MWe	Type	Scenario Requirements \$
1	Landbased OC-OTEC with 2nd-stage additional water production	45/barrel of diesel 1.6/m ³ water
10	Landbased, as above	30/barrel of fuel oil 0.85/m ³ water
50	Landbased hybrid (ammonia power cycle with flash evaporator downstream)	49/barrel of fuel oil 0.4/m ³ water (or) 31/barrel of fuel oil 0.8/m ³ water
	Closed-cycle landbased	37/barrel of fuel oil
50	Closed-cycle plantship	23/barrel of fuel
100	Closed-cycle plantship	20/barrel of fuel oil

작과 요소기술 개발을, 2차로는 1MW 파이럿 플랜트를 제작, 가동하는 것을 목표로 하며 기술개발과제와 내용은 아래와 같다.

- OTEC 열역학 사이클 효율향상: 최적 열역학 사이클 개발을 위하여 암모니아, 프로필렌(propylene)과 함께 이중 혼합물인 암모니아-물 혼합물을 사용하여 효율을 개선 한다. 이를 위하여 흡수기를 사용하는 사이클을 개발하며 단일 흡수기와 증발기를 사용하는 1중 사이클이 온도, 압력 및 혼합물 혼합비에 따라 최적화되는 조건을 찾고, 2중 유체 loop를 사용한 흡수기와 증발기에 대한 효율도 조사한다. 데이터를 분석하여 복합 Hybrid 사이클의 최적조건을 해석하고, 단위 전력당 필요한 총 열전달 면적을 구하여 최적설계 조건을 구한다.

- OTEC 발전용 최적 열교환기, 펌프력 향상 및 저압저빈개발: OTEC발전 시스템은 열교환기의 성능이 전체 시스템의 크기와 성능에 절대적인 영향을 미친다. shell and tube type 열교환기와 plate type 열교환기를 비교 연구하며, 열교환기의 효율을 극대화 할 수 있는 배열방법을 조사한다. 또 열교환기의 표면의 fouling 문제를 처리하는 방법과 최적 터빈 설계에 대하여 조사한다. 그리고 해저 냉수의 펌핑 성능을 개선할 수 있는 방법을 모색 한다.

- 해상 발전플랜트 부유구조물 안정성과 파이프거동에 대한 기술 개발: 해상의 바람, 파도, 조류 등의 환경 하에서 안정적으로 운용되기 위해 전체 시스템의 해상에서의 위치 유지와 수중 OTEC 파이프의 구조 안정성 확보기술을 개발한다.

- 실험용 소형 OTEC 발전 시스템 제작 운전: 위의 연구결과들과 선진국에서의 사례를 조사·검토하여 실험용 소형 OTEC 발전시스템을 구성, 운영하며 이를 토대로 전체 OTEC 발전시스템의 성능평가와 최적 조건들을 찾아낸다. 여기서 얻은 기초자료들은 2단계 파이럿 플랜트 설계에 좋은 자료로 쓰일 것이며 OTEC을 이용한 전력생산의 가능성에 다

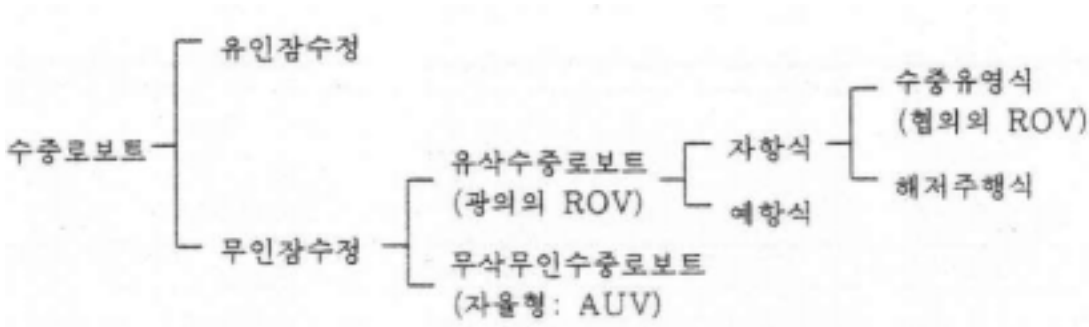
한 검증용으로 사용되도록 한다.

IV. 중작업용 수중 로봇

1. 기술개발의 필요성

우리나라 연근해에서 빈발되고 있는 해난사고로 인한 구난과 침몰선의 인양작업 지원, 수중 오염원의 조사, 관측 및 오염원 제거작업 등 국가의 인명과 재산, 환경 등을 보호해야 하는 문제가 최근 중요한 과제로서 대두되고 있다. 특히, 우리나라 연근해 환경특성이 조류가 세고 시계가 열악하기 때문에, 이와 같은 열악한 환경을 극복할 수 있는 강인하고 고성능의 작업능력을 확보한 수중 로봇 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다. 또한 수중 로봇기술은 해양산업·해양방위 등에 필요한 구체적 수단의 종합기술로서, 해양산업개발의 가속화에 따른 수중작업의 수요가 급속히 증가할 것으로 예상된다.

수중 로봇은 단순한 소형수중 TV카메라로부터 시작하여 선상에서 원격조종되어 수중 촬영과 작업을 수행하는 수중 로봇까지 다양하다. 수중 로봇은 Tether의 유무에 의하여 유삭식과 무삭식으로 크게 구분된다. 수중 로봇은 통상 ROV(Remotely Operated Vehicle)라는 호칭되고, 보통 ROV라고 하면



<그림 1> 수중 로봇시스템의 분류

유삭식 수중 로봇을 의미한다.

2. 국내외의 연구개발 현황

1) 선진국의 연구개발 현황

- 대심도용 수중 로봇

1953년에 수중 로봇의 실험적 기종이 미국에서 만들어져 1960년대에 들어와 실용화되었다. 그러나 1970년대 전반기까지 이러한 수중 로봇은 이른바 제1세대의 개발·시험용 단계의 것이었고 미국을 중심으로 해저탐색·회수와 해양조사를 목적으로 수중 로봇이 제작되었다. 대심도용(6,000m급 이상) 수중 로봇은 현재 미국이 5대, 프랑스와 일본이 각각 1대를 보유하고 있다. 구미보다 수중 로봇개발이 늦은 일본은 첫 번째 대심도용 수중 로봇으로 돌핀 3K를 개발하면서, 선상과 Vehicle간의 데이터통신에 광통신기술을 도입하는 등 새로운 기술을 채용하였다.

- 중작업(Heavy duty)용 수중 로봇

통상 중량100kg 이상의 탐사·관찰장치로 소나·TV카메라와 함께 물리적인 작업장치로써 매니플레이터(Manipulator 기계 팔)를 1대 또는 2대를 갖추고 있다.

- 예항식 수중 로봇

예항식 수중 로봇은 그물에 끌려 해중을 항

<표 3> 세계의 대심도용 수중 로봇(6,000m 이상)

명칭	심도 (m)	제조사	주요치수, 중량 m*m*m*kg	운용 년도	주요 사용목적
JASON	6,000	WHOI	2.1×1×1×1,088	1987	관찰/실험 Support
ROBIN	6,000	Intersub	0.67×0.7×0.55×130	1987	관찰
ATV	6,000	NCS	6×3×2.5×5,000	1991	관찰/실험Support
GEMINI I	6,096	EASTPORT	3×2×2×4,173	1988	침몰물체수색회수
CURV II	6,096	EASTPORT	3.4×2.9×2.1×5,216	1990	침몰물체수색회수
MAGELLAN	7,000	EASTPORT	2.1×1.4×1.5×4,173	1990	침몰물체수색회수
KAIKO	11,000	JAMSTEC		1995	해양조사

<표 4> 중작업용 수중 로봇

명칭 항목	RECON IV	TRITON	SUPER SCOLPIO	HYSUB 5000M
국명	미국	미국	미국	캐나다
주요목적	관찰·점검 모든작업	관찰·점검 모든작업	관찰·점검 모든작업	관찰·점검 모든 작업
운용년도	1984년	1985년	1985년	1989년
최대심도	457m	1,000m	1,000m	5000m
최대 속도	전진3kts	전진 3kts	전진 2.5kts	전진2.5kts
페이로드	160kg	227kg	150kg	254kg
표준 탑재 기기	칼라&B/W TV카메라 250W라이트×4 UDT 스캐닝소나 4DOF 매니플레이터	칼라TV카메라×2 250W라이트×6 UDT스캐닝 소나 7DOF&5DOF 매니플레이터	칼라TV카메라×2 250W라이트×6 CTFM스캐닝 소나 7DOF&5DOF메니 플레이터	칼라TV카메라×2 250W라이트×4 메조텍스캐닝 소나 7DEF&5DOF 매니플레이터

주하는 형태로 해저수색 및 해저지형의 매핑 등의 과학조사가 주된 임무이다. 앞으로 간단한 예항형 해중 로봇이 보급되어 해양조사의 저변확대가 이루어 질 것으로 기대된다.

해저면 견인형 수중로봇은 추진장치가 없고 수상선박에 케이블로 매달려 끌려다니는 방식으로 해저케이블 또는 해저파이프 라인을 위한 굴설과 매설을 실행하는 전용기계로 한정된다. 로봇트라기 보다 기계의 이미지에 가깝지만 이 방식은 자항식의 로봇에 비해 대형기계의 탑재가 가능하기 때문에 대규모 작업이 실행하여 현재 일본에서는 모간단과 채광을 위한 집광기로 이 형식을 채택하였다.

- 해저케이블 매설기

해저케이블 매설기는 굴삭과 케이블 부설 등의 중작업을 실행하기 위해 대형·대중량으로 되어있는 것으로 거의 2

톤 이상이다. 사용심도는 淺海用이 많고, 공표되어 있는 것 중에는 2,000m를 넘는 것은 없으며 대부분은 300m까지에서 사용된다. TV카메라와 소나, 방위계등의 항해기기를 갖추고 있는 것 외에 溝掘을 위한 Water Jet 등의 작업용 수중기기를 탑재할 수 있도록 되어 있다.

2) 국내의 수중 로봇기술 현황

우리나라는 선진해양국에 비하여 매우 늦게 시작되기는 했으나, 다양한 선박의 건조기술을 바탕으로 해양장비 개발에 필요한 핵심요소기술 개발이 한국기계연구원을 중심으로 활발하게 진행되고 있다.

한국기계연구원에서는 1987년에 수심 250m급 탐사용 유인 잠수정 "해양250"의 개발에 성공하였다. 그리고 1990년에는 수심 300m급 유삭식 무인탐사기(ROV)를 개발하였다. 또한 현재에는 무삭식 유인잠수정(AUV)을 개발하고 있어 수중장비의 3대분야인 유인잠수정, 무삭식무인기 및 유삭식 무인기를 모두 개발한 실적을 보유하고 있다. 특히 수중장비의 핵심요소기술인 Software Intergration 및 Hardware System Intergration 능력이 확보되어 있다.

기업의 경우 삼성중공업은 해중장비에 대한 개발실적이 없으나, 1994년부터 한국기계연구원과 협동으로 300m급 AUV를 개발 중에 있으며, 현재 Test Bed가 시운전 중에 있다. 현대 중공업도 수중장비에 대한 제작경험은 없으나, 해저 파이프 매설과 관련한 장비의 설계, 제작 및 운용기술을 확보하고 있다. 코리아타코마는 잠수정의 건조실적이 다수 있는 것으로 알려져 있으나, 공표된 자료는 없다. 이 회사는 한국기계연구원과 함께 250m급 유인잠수정 "해양250"를 설계, 조립, 제작 및 시험가평가를 성공한 실적이 있다. 또한 Light Duty ROV "PLOT0"의 국내 Agent로 보수유지 기술을 확보하고 있다. 대우중공업(주)은 해저 6,000급 심해저 무삭식 무인 탐사정(AUV)OKPO-946을 러시아 극동해양연구소(IMTP)가 공동개발을 추진하여, 시스템 대부분을 제작함으로써 설계 및 제작기술을 확보하고 있다.

3. 기술개발 과제 및 내용

조류의 세기가 크고, 수중시계(Visibility)가 불량한 수중환경에서 다목적 작업이 가능한 고성능 중작업용 수중로봇개발을 위해서는 다음과 같은 과제가 필요하다.

- 수중 로봇 종합 설계·제작 기술 개발: 수중 로봇의 전기, 전자, 기계 구조, 유압시스템, S/W 설계 및 시스템 O/S 설계 등 설계제작기술 개발
- 수중 로봇의 작업성능고도화 핵심기술 개발: 수중 로봇팔의 최적 설계 및 원격제어기술 개발, 두 대의 영상 카메라 신호를 이용한 3차원 수중목표물추적 제어기술, 혼탁 시계중의 작업상태 감시를 위한 초음파 수중영상 신호 취득기술 개발
- 수중 로봇의 추진 및 제어기기 시스템 개발: 고효율/저소음 유압추진시스템 기술, 수중 로봇 제어기의 최적설계 및 하드웨어 시스템기술, 시스템 운용 콘솔기술, 중앙제어를 위한 다중계측신호의 신호융합기술개발

주석1) 기술기획실, 책임연구원(Tel: 02-250-3192)

