한국기계(연)의 해양공간이용 대형 복합플랜트 개발 계획

정 태 영

(KIMM 구조시스템연구부)

'75 서울대학교 조선공학과(학사)
'77 서울대학교 조선공학과(석사)
'87 미국 M.I.T. 해양공학과(박사)
'80-현재 한국기계연구원 책임연구원

정 정 훈

(KIMM 구조시스템연구부)

'85 서울대학교 조선공학과(학사)
'87 서울대학교 조선공학과(석사)
'91 서울대학교 조선공학과(박사)
'92-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 언

지금까지는 해양개발에 대한 국민들의 인식 부족과 국가정책 차원에서의 지원미흡으로 본격적인 해양개발이 이루어지지 못하고 있으나 삼면이 바다로 둘러 싸여 있고 육지면적이 협소하여 인구밀도가 높은 우리 나라에서 앞으로 해양공간을 생산이나 거주 또는 여가선용의 공간으로 잘 활용할 필요가 있다는 데는 이론의 여지가 없다고 하겠다. 그러나 해양공간의 활용을 위한 기술개발은 그 범위와 규모가 매우 커서 막대한 예산과 기술력이 동원되어야 하므로 정부의 주도아래 관련 산업계, 학계, 연구계가 모두 힘을 합쳐 수행하지 않으면 안된다. 정부에서도 이러한 점을 인지하여 해양 및 해양자원의 합리적 개발, 이용과 보전에 필요한 기본정책방향을 제시하기 위해 "해양개발기본법"을 제정하고, 이에 근거하여 해양공간의 활용방안을 주내용으로 하는 해양공간의 이용 및 개발을 주요 시책의 하나로 포함하고 있는 "해양개발기본계획"을 제안하여(1996. 1. 6) 다가오는 해양시대에 적극적으로 대처하기 위한 범국가적 정책을 추진하고 있다. 한국기계연구원에서는 이러한 국가정책에 발맞춰 그 간에 축적된 기계, 선박해양 및 재료분야 전문기술을 바탕으로 "해양공간이용 대형 복합 플랜트 개발" 사업을 연구소에서 중점적으로 수행하여야 할 Star project로 선정하고 과학기술처 지원하에 관련 산업계, 학계, 연구계와 협동하여 1996년부터 본격적인 연구를 시

작하게 되었다. 본 고에서는 국내외 해양공간 활용기술 개발현황을 살펴보고, 한국기계연구원에서 현재 추진하고 있는 연구개발 계획을 소개한다.

2. 해상 플랜트의 특징 및 개발의 중요성

해상플랜트(Barge Mounted Plant, BMP)는 해상의 부유구조물 위에 생산활동을 위한 각종 플랜트를 설치한 것으로 육상플랜트에 비하여 많은 장점이 있으며 다음과 같은 특징들을 갖고 있다.

• 경제성

육상의 용지 난을 해소할 수 있으며 대규모 냉각수 취득이 용이하다는 장점이 있다. 또한, 표준화 모델을 개발함으로써 series 건조를 통한 원가절감이 가능하다.

• 기술적 특성

설계·시공·유지·관리 분야에 대한 고도의 엔지니어링 기술이 필요하며 타산업으로의 기술적 파급효과가 크다. 또한, 표준화가 용이하여 Module화 된 부분은 공장에서 선 조립할 수 있으므로 공기단축이 가능하며 생산표준화에 의한 품질관리의 고도화를 달성할 수 있다.

• 안전성 및 내구성

부유식 해상구조물에 대하여는 지진의 영향을 배제할 수 있으므로 설계기준이 대폭 완화되며 철저한 안전진단 시스템을 구축함으로써 구조적 안전성과 내구성 확보가 가능하다. 또한 표준화 설계에 따라 생산되므로 시설의 유지, 보수관리가 용이하다.

• 환경문제

육상의 주민기피시설을 유치하므로써 심각한 혐오시설에 대한 육상 용지 난과 환경문제를 해소할 수 있다. 또한 부유식 해상구조물은 매립식에 비하여 해양환경과 주민의 어업권 문제에 대한 영향이 작은 것으로 평가되고 있다.

• 기능성

수요지와 인접한 장소에 설치 가능하다. 또한 시설의 개조·증설이 용이하며 쉽게 이동이 가능하므로 수요변화에 의한 설치장소의 변경과 철거가 용이하다.

그러나 이러한 해상플랜트를 개발하기 위해서는 막대한 초기투자가 필요하며 단기간에 이윤회수가 어려운 공공기술의 특성으로 인하여 민간기업에게만 기술개발을 전담하게 하기는 어렵다. 따라서 정부 및 지방자치단체의 적극적인 지원없이는 해상플랜트 개발은 불가능하며, 정부주도하에 관련 기업의 적극적인 참여를 유도하므로써 동 기업에 대한 기술개발 지원 효과를 극대화 할 수 있다.

3. 국내외 해양공간 활용기술 개발 현황

3.1 외국의 개발 현황

현재까지 석유 시추 및 생산을 위한 해상 플랜트는 이미 일반화되어 있으며 발전 또는 담수화 설비 또한 꾸준한 수요가 유지되고 있다. 일본, 노르웨이, 스웨덴, 독일 등에서는 이미 각종 화학 플랜트, LNG 플랜트, 원유저장 탱크, 호텔 등을 해상에 설치하고 있으며 해상 폐기물처리 시스템, 원자력 발전설비, Floating Bridge, 해상도시, 위락시설 등을 실현하기 위한 실용화 연구를 수행하고 있다. 특히 일본은 해양으로 둘러싸인 도서국가라는 특성으로 인하여 세계적으로 가장 많은 BMP 개발실적을 보유하고 있고 최근에는 초대형 부유체(메가플로트)기술 연구조합 등 산업계 중심의 연구협의체를 구성하여 미래의 해양공간 활용을 위한 연구도 가장 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 본 고에서는 일본의 개발 현황을 중점적으로 살펴보기로 한다.

3.1.1. 일본의 개발실적

• 대형저속디젤 발전 바-지

1994년 필리핀 민다나오섬에 2기 설치되었다. 기당 50MW이며 바-지의 크기는 95×45×40(m)이다.

• **Aqua Police (해상도시)**

국립 해양공원에 위치하고 있으며 1975년이후 오끼나와 해양박물관 본부로 사용되고 있다. 상갑판면적 10,000m^2 , 최대허용중량 5,000톤, 수용인원 2,400명 규모이며, 부유구조물은 104×100×32(m)의 반잠수식형이다. 자가 발전시설, 쓰레기처리시설 및 소각로, oil-water 분리장치와 2,500명분의 급수장치를 갖추고 있다.

• **Royal Phoenix, Estorella**

1992년에 완공된 위락시설로 이벤트 극장, 모션극장, 게임하우스, 전망식당이 있다. 크기는 125×42×34(m), 무게는 15,600 톤에 이른다.

• **사카이가하마 Floating Island**

대형수족관, 3차원 motion 극장과 다목적 플라자 시설을 갖추고 있다. 크기는 130×40×5(m), 무게 10,660톤 규모이며, 최대 2,000명을 수용할 수 있다.

• **카미-고토 부유 석유 기지 (Floating Petroleum Base)**

원유저장 해양 기지로서 5개의 바-지로 구성된다. 면적 약 40ha, 4.4x10^6 kl 저장능력을 갖고 있다.

• **육각 해양 구조물 (Hexagonal Marine Structure, HMS)**

요코하마 박람회를 위해 1989년 완공되었다. 직경 40m, 갑판 둘레 100m, 너비 6m 규모이다.

• **기 타**

펄프 플랜트 바-지, LNG 플랜트 바-지, 담수화 플랜트 바-지, 곡물하역 터미널 바-지, 해상거주시설, 해상호텔, 시멘트 플랜트, Sawmill 플랜트 등 각종 해상 플랜트의 설계/건조 실적을 보유하고 있다.

3.1.2 개념설계가 진행중인 대표적 과제

• **간사이 국제공항의 확장**

1994년에 완공된 현재의 공항은 한 개의 활주로 밖에 없기 때문에 일본의 허브공항이 되기 위해서는 한두 개의 활주로가 더 필요하다. 따라서 부유식의 제2, 3 활주로가 구상되고 있다. Steel 또는 hybrid pontoon type의 구조물은 dolphin damper로 고정되며, wave breaker로 둘러 싸여 있게 된다. '마린 플로트 추진기구'에서 개념 설계하였다.

• **Twin Foci of Osaka Bay**

'초대형 부유체 기술 연구조합'에서 구상하고 있다. A와 B 2개의 인공 기지로 구성되는 데, A는 해저지반에 파일을 박아 만든 jacket 형의 섬이며 B는 반잠수식형의 섬이다. 현재 여러 가지 공학적 측면에서 상당한 연구가 진행중에 있다.

• **Ocean Communication City Complex**

고도의 기능적 공간으로서 해양 비즈니스 센터, 정보망 센터, 새로운 에너지의 창조를 목표로 하고 있다. 4층의 강 부유구조물로 구성되며 각 층에는 최대 20m높이의 건물을 세울 수 있다. 한 층의 면적 2,500ha로 10,000개의 다리(기둥)와 100×10^{6}톤의 철강이 소요된다.

3.1.3. 일본의 해상공간 활용을 위한 추진기구

• **마린 플로트 추진기구 (The Floating Structure Association of Japan)**

바다를 제2의 경제공간으로 활용하고 국토의 균형적인 발전을 도모하기 위한 방안으로서 해양공간 활용의 필요성을 인식하고 국가 또는 지방자치단체의 수요에 부응하여 해양공간이용 프로젝트를 실현하기 위한 목적으로 1990년 7월에 발족되었으며, 조선, 철강 관련 업계의 새로운 수요를 창출하는 한편 부유구조물에 대한 연구활동을 확대하는 것을 배경으로 하고 있다.

이에 따라

- 부유구조물의 실용화 개념 창조, 타당성 검토
- 부유구조물의 사업화 추진
- 부유구조물 관련 법규 및 기술 검토
- 심포지엄 개최, 관련 출판물 간행 등의 홍보활동

• 기타 본 추진기구의 목적달성에 필요한 사업 등의 사업들을 수행하고 있으며, 회원 기업으로는 건설(20사), 해양토목(14사), 도료(6사), 철강(4사),

전기통신(3사), 조선(14사), 상사(6사), 증권(6사), 은행(6사), 손해보험(15사), 부동산(3사), 운수창고(6사), 콘설턴트(2사), 리조트주택(1사) 등 일본의 110개 선도기업들이 참여하고 있다.

• 초대형 부유체(메가플로트) 기술 연구조합

과학기술의 발전에 따라 장차 해양공간의 이용이 점차 활발해질 것이며 따라서 공간확보가 용이한 내해 및 천해역은 점점 고밀도화되는 한편 궁극적으로는 근해의 대수심 지역의 이용방안이 중요한 과제로 부상될 것으로 예측하여 결성된 연구조합이다.

현재 수백 m 규모의 부유식 구조물들은 이미 제작되고 있으나 앞으로 수 km 규모의 초대형 구조물을 실현하기 위해서는 특유의 문제점들이 해결되어야 할 것이다. 따라서 이 조합의 설립배경은 대규모의 부유체 모델을 이용한 실증적인 연구개발을 수행하여 이러한 과제의 해결을 도모하는 것이다. 이러한 기술과제들이 해결되면 해양공간이용에 있어서 입지, 공법의 선택 폭이 넓어지고 운수, 물류 관련 시설 등의 사회자본을 원활히 정비할 수 있을 것이다.

사업내용으로는 정부, 산업체 공동투자에 의하여 9개의 부유체 unit을 해상에서 접합하여 300×60×2(m)의 대형 부유체모델을 완성하고 실증시험을 통하여 부유체 설계기술, 해상 시공기술, 초장기(100년 이상) 수명유지 기술, 탑재시설 기능보증기술, 환경영향 평가기술 등을 연구 개발한다. 조합 참여기업으로는 IHI, 가와사키중공업, 스미토모중공업, NKK, 히타찌중공업, 미쓰이중공업, 미쓰비시중공업, 今治, 大島, 新來島, 사노야스・히시노明昌, 쯔네이시, 名村 등 13개 조선사와 함께 신일본제철, 가와사키제철, 스미토모금속, 코오베제강 등 4개의 철강회사가 참여하고 있다.

1995-1997(3개년)의 연구개발기간 동안 자체연구비, 운영경비를 제외하고 총 75억엔의 순수 연구비(1995년도 연구비: 24억5천만엔, 일본선박진흥회: 9억8천만엔, 민간:9억8천만엔, 국가:4억9천만엔)가 투입될 예정이다.

3.2 국내 기술 현황

현재 우리 나라는 조선공업을 중심으로 한 중공업의 제조기술이 상당히 높은 수준에 도달해 있으며 해상 발전 플랜트 또는 담수화 설비 등을 외국에 수출한 실적이 있다. 그러나 이를 설계하는 엔지니어링기술은 해외에 의존하는 부분이 많기 때문에 기술자립을 위한 연구개발 투자가 시급한 것으로 판단된다. 또한 해양공간을 잘 활용해보자는 관점에서 최근 출연연구소 및 대학을 중심으로 대형 해양구조물의 동적 거동해석과 기초적인 해석/설계 기술에 관한 연구가 시작되고 있으나 아직은 매우 미흡한 형편이다. 그러나 서언에서 언급한 바와 같이 정부에서도 해양개발의 중요성을 인식하여 "해양개발기본계획"을 제안하고 있고, 여기에서 해상 플랜트, 인공섬 설계기술 개발, 실용 해상플랜트 건설 등의 해양공간 이용기술 개발을 중점 시책의 하나로 선정, 추진하겠다는 의지를 표명하고 있으므로 이 분야에 대한 정부의 이러한 중장기적인 정책적, 재정적 지원은 국내의 활발한 연구활동의 커다란 계기가 될 수 있으리라 생각한다.

4. 연구개발 계획

해양공간 활용기술은 결국 부유구조물 위에 여러 가지 플랜트 기술을 접목하는 것이라고 볼 수 있으며 그림 1에서 보듯이 접목된 플랜트 기술에 따라 다양한 해상 생산/거주/교통/물류 시설이 개발될 수 있다.

본 연구사업에서는 해양공간이용 극대화를 위한 핵심기반기술의 확립과 경제적이고 안전한 해상 대형복합 플랜트 개발을 연구개발의 최종목표로 하여 해상 발전/담수화 플랜트를 개발대상 플랜트로 선정하였다. 연구개발 사업의 총연구기간은 6년, 총연구비 규모는 450억원(정부 : 180억원, 민간기업 : 150억원, 예상수요기관 : 120억원)이다. 표 1 및 표 2에 단계별 연구개발 추진계획 과 연구개발 내용을 각각 요약・정리하였다.

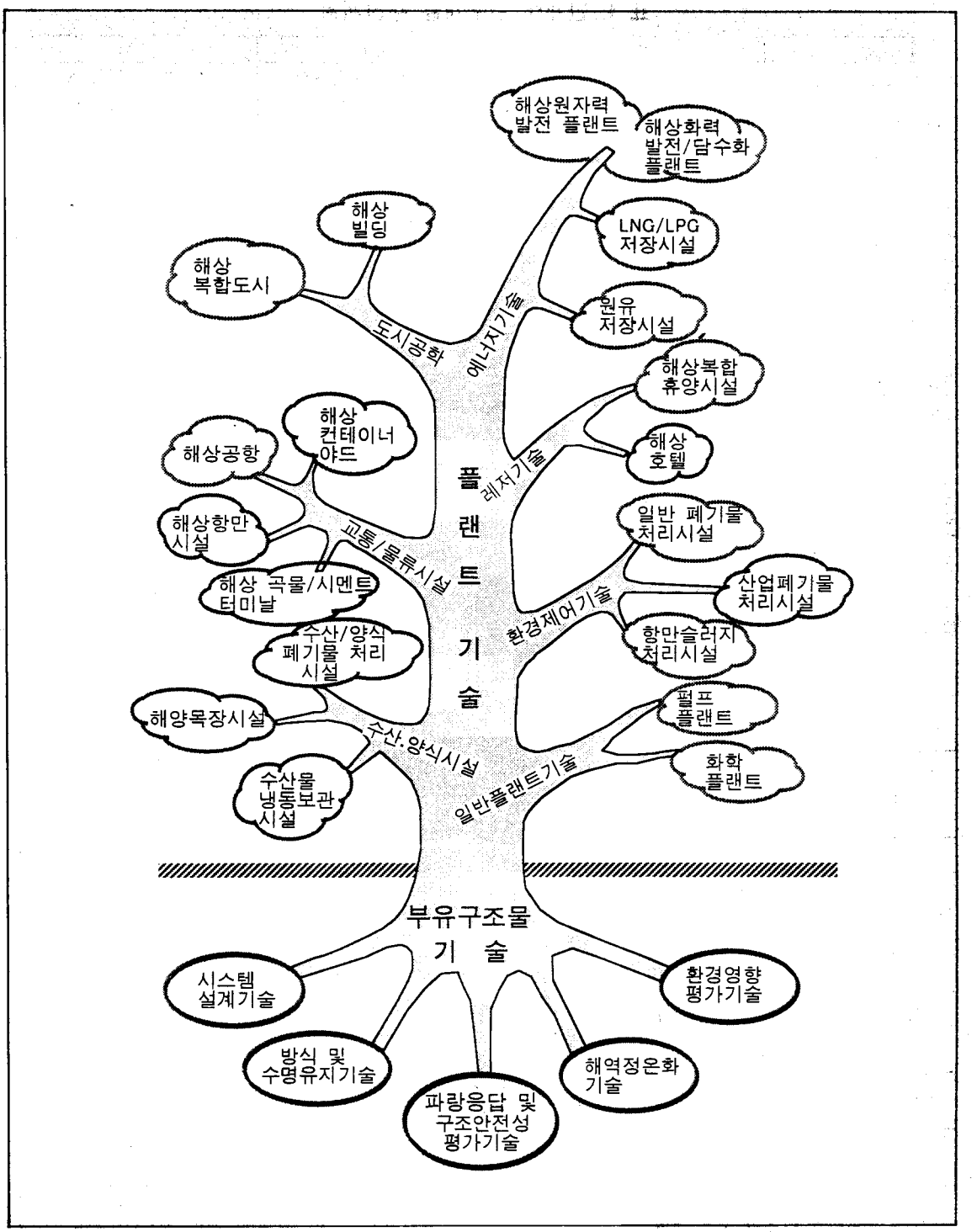

그림 1. BMP 기술개발 계통도

표 1. 단계별 연구개발 추진계획

		1996	1997	1998
1단계	부유구조물기술	초대형 부유구조물 해석/설계기술 연구	부유구조물 모형제작 및 해양수조시험 검증	초대형 부유구조물 설계/건조기술 확립
	담수화기술	증발식/역삼투압식 담수화기술 연구	0.1 ton/hour 담수화설비 개발	2 ton/hour 담수화설비 개발
	해상소각기술	사업타당성 조사 (대상지역: 수도권, 인천, 부산)	소각장의 해상건설을 위한 인터페이싱 기술 개발	
2단계	• 1단계에서 얻어진 부유구조물 기술과 담수화 기술을 바탕으로 해상 발전/담수화 플랜트를 제작하여 실해역 실증시험을 실시한다. - 담수화용량 : 30 ton/hour - 발전용량 : 3,000KW - 바-지 크기 : 60×40×10(m) * 플랜트 규모는 예상수요기관(정부, 지방자치단체 또는 산업체)과 협의하여 추후 변경 가능하며 이에 따라 2단계 연구비는 조정될 수 있다. • 1단계 사업에서 개발된 해상소각기술을 기반으로 하여 수도권, 인천시, 부산시 등 지방자치단체들을 상대로 해상소각 플랜트의 수요처를 확보할 수 있도록 노력하며 수요처가 발생되는 경우 별도의 연구개발비를 확보하여 사업을 추진한다.			

표 2. 연구개발 내용

연구과제명	연구개발 내용
시스템 종합기술 개발	■ 시스템개발 총괄 ■ 부유구조물-기계시스템 인터페이스 기술 개발 ■ 부유구조물의 3차원 제품 모델 개발 ■ 해상 물류시설 고도화기술 개발
부유구조물 파랑응답 해석기술 개발	■ 파랑하중/응답 해석기법 개발 ■ 돌핀계류시스템 종합설계기법 개발 ■ 부유구조물 유탄성 응답해석기법 개발
부유구조물 구조용접 기술 개발	■ 대형 구조물의 파랑중 구조응답 해석기법 개발 ■ 구조물 건전성 모니터링시스템 개발 ■ 용접부의 피로강도 해석기법 개발 ■ 후판구조물 보수용접 기술 개발
부유구조물 방식 및 수명연장 기술 개발	■ 대형 구조물의 방식 시스템 개발 ■ 해양구조물의 부식 평가 및 수명예측 기술 개발 ■ 해수용 고내식 재료 개발 ■ 해양구조물의 수중 결함탐지 기술 개발
해역정온화 기술 및 주변시설 설계기술 개발	■ 파랑제어 구조물 설계기술 개발 ■ 해수유동제어 기술 개발
폐기물 해상 처리 시스템 개발	■ 폐기물 해상 소각로 인터페이싱 기술 개발 ■ 폐기물 해상 처리의 타당성 조사
고효율 담수화 기술 개발	■ 고성능 담수화 시스템 설계기술 개발 ■ Fouling 방지기술 개발 ■ 고성능 해수증발기 기술 개발

해상 발전/담수화 플랜트는 현재까지 국내에서는 수요가 별로 없었으나, 포항 부산등 임해공업단지와 연안 도서지역에서는 현재에도 기끔 물의 부족현상을 겪고 있으며 앞으로도 인구증가, 산업화, 기상이변등으로 인하여 물 부족현상이 더욱 심화되리라 예상된다. 따라서 이에 대한 대비책으로 해상 발전/담수화 플랜트를 본 연구사업의 개발대상 플랜트로 선정하였다. 이것은 특히 가까운 장래에 필요할 것으로 예상되는 대형 해상 원자력 발전/담수화 플랜트 개발을 위한 선행적 연구의 의미를 갖는다.

해상 발전/담수화 플랜트 개발과 함께 해상소각 플랜트와 해상 port에 대한 사업 타당성을 검토한 후 타당성이 확인된 플랜트는 본 연구사업과 병행하여 관련 산업체와 공동으로 개발 사업을 추진할 계획이다. 특히 해상소각 플랜트는 현재 정부가 추진하고 있는 한 마을 한 소각로 설치계획에 대한 보완책으로 개발될 수 있을 것으로 보며, 이를 위해서 1단계 연구사업에서 개발된 해상소각기술을 기반으로 하여 수도권, 인천시, 부산시 등의 지방자치단체를 상대로 해상소각 플랜트의 수요처를 확보할 수 있도록 노력을 경주할 계획이다.

5. 맺음말

"해양공간이용 대형 복합 플랜트의 개발" 연구사업을 수행함으로써 얻을 수 있는 사회, 경제적 효과를 요약하면 다음과 같다. 대형복합 해상 플랜트 개발을 통하여 해상공간을 충분히 활용하므로써 육상 용지 난과 환경오염 문제를 해결할 수 있다. 또한 대형 부유식 구조물 기술과 대형 기계장치 기술을 효율적으로 조합하여 대형 복합 해상플랜트 개발 능력을 확보함으로써, 해상 플랜트 산업을 고부가가치 수출전략산업으로 육성 가능하게 되며, 국내 플랜트 엔지니어링 기술수준 도약의 계기가 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구사업의 성공적인 수행을 위해서 한국기계연구원에 올해내로 완공될 해양공학수조와 현재 보유하고 있는 국내유일의 대형구조실험 설비를 비롯한 각종 시험장비, 기계설비들을 적극 활용하고, 국내 대학의 연구인력을 폭넓게 이용하여 관련 요소기술 개발 및 기초연구를 수행하며, 산업체가 필요로 하는 실질적인 연구를 수행하여 관련 산업계의 적극적인 참여를 유도할 것이다. 또한 필요한 기술에 대하여는 국제협력 혹은 국제공동연구를 통하여 중간진입전략도 구사할 계획이다. 이렇게 본 연구사업을 통하여 국내 산·학·연의 연구역량을 결집하여 노력한다면 해양공간 활용기술 분야에 있어 단시일내에 선진국 수준에 도달할 수 있으리라 판단된다.