

# 해양공학수조를 활용한 해양개발 및 이용 보전

김현주·최학선·홍석원 / 선박해양공학연구센터 해양기술연구부

## 서 언

최근 해양자원의 지속가능한 개발 및 이용이 강조되고 있다. 이를 위해서는 해양환경을 잘 이해함으로써 해양외력환경에 대해 안전하고 경제적인 개발이 되도록 하여야 할 뿐 아니라 해양생태환경에 악영향을 주지 않는 효율적인 이용이 되도록 하여야 한다.

해양환경 현상, 해양환경과 구조물간의 상호작용, 해양환경과 구조물, 그리고 지반간의 상호작용 등을 규명하는 것은 해양의 효율적인 개발 및 이용을 위한 선결조건이다. 이를 위한 해양공학적 해석과정은 이론해석, 수치실험 및 수리모형실험 등으로 검토되어 왔다. 컴퓨터의 발달과 함께 이론해석 및 수치실험 기법이 급속하

게 발달하였지만 해양파랑의 불규칙성, 다방향성 및 비선형성을 비롯한 해양환경의 지형-지질-구조물에 의한 복잡한 성상 및 작용기구를 종합적으로 고려할 수 있는 수치모형은 가까운 미래에도 개발되지 못할 것으로 예측되고 있다. 한편, 수리모형실험도 다소 문제점을 안고 있으며, 이는 상사칙에 대한 정확화, 차원해석에 의한 효율화뿐만 아니라 실제적인 해양외력환경의 발생으로 요약될 수 있다.

종래, 대부분의 조파수조는 실제 해양의 다방향 불규칙파를 재현할 수 없었을 뿐 아니라 흐름, 바람 등과의 복합장을 재현할 수 없었다. 이로부터, 선박해양공학연구센터는 수리모형실험 및 해석의 고도화를 위하여 실제적인 파랑, 흐름 및

바람을 재현할 수 있는 해양공학수조를 완비하게 되었다.

해양공학수조의 건설 의의는 (1)해양에 존재하는 파랑, 조류, 바람 등의 복합적인 환경요소를 재현할 수 있는 실험장치의 확보, (2)한반도 주변해역과 공해의 적극개발 및 이를 위한 해양개발 장비의 개발, 수출 및 신수요 창출 등을 통한 해양개발 지원기술의 개발을 위한 수단 확보 및 (3)해양공간 및 해저자원 개발 플랜트의 설계 용역비의 절감을 위한 실험시설의 국내확보 등으로 요약할 수 있다.

본 고에서는 선박해양공학연구센터의 해양공학수조의 특성 및 기능을 설명하고, 이를 해양자원의 지속가능한 개발 및 이용을 위한 연구기반으로서 활용하는 방향과 방안에 대

해 고찰하고자 한다.

## 해양공학수조의 개요

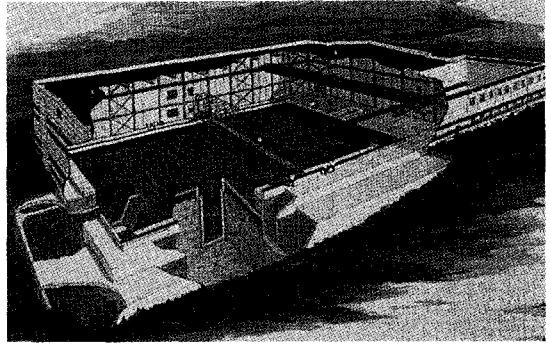
해양공학수조는 파랑, 흐름 및 바람을 실제 해양의 환경과 같이 재현할 수 있도록 <그림 1>과 같이 설계 및 설비되어 있다. 그림으로부터 해양공학수조의 해양환경재현 및 이에 대한 선박 및 해안·해양구조물의 성능실험을 위한 각종 장비의 배치 및 운용개념을 알 수 있다.

수조성능을 결정하는 중요한 영향인자는 수리모형실험을 위한 실물의 축척비이며, 지구중력과 관계한 물리현상으로서 Froude수, 점성항력에 관련된 Reynolds수 및 Strouhal수를 기준으로 결정한다. 이러한 축척비를 고려하여 해양공학수조는 길이 68.8m, 폭 37.2m, 최대수심은 4.5m로 결정되었고, 중앙부에 직경 5m, 바닥면으로부터 깊이 12m의 피트가 설치되었다. 또한, 파랑은 최대파고 0.8m까지, 유동은 0.5m/sec까지, 바람은 10m/sec까지 재현할 수 있도록 설계 및 설치되어 있다.

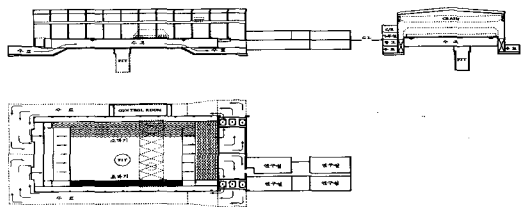
이 제원은 고정식 및 부유식 해안·해양구조물의 성능평가 실험을 1/50 축척에서 북해에서의 최대파고 40m를 대상으

로 할 수 있는 것이며, 우리나라 연근해의 설계 파(최대유의 파고 8~13m)에 대해서는 1/20~1/80의 축척 모형을 대상으로 수리모형실험을 수행할 수 있는 것이다. 또한, 선박 및 해양장비에 대한 실험은 2m~4m 정도의 모형선을 이용하여 가속 및 감속

구간인 32m (16m+16m)를 제외한 33m정도에서 항주시험이 가능하며, 선회반경이 약 16.5m로 추정되는 4m 모형선의 자유항주 모형시험이 가능하다. 수조의 최대수심은 4.5m이며, 이는 항체가 수조 바닥 효과를 느끼지 않고 평면운동을 할 수 있는 것이며, 연직운동이나 심해 잠항 성능의 평가는 수조 중앙부에 설치된 직경 5m, 바닥면으로부터 깊이 12m의 피트 내에서 실시할 수 있다. 한편, 수심은 최소 0.5m까지 조절 가능하므



<그림 1> 해양공학수조의 조감도



<그림 2> 해양공학수조의 단면도

로 천해역에서의 파랑변형, 해안구조물의 안정성 및 항내 파고분포 등의 실험뿐만 아니라 연안역에 설치될 각종 수산증양시설의 성능평가 실험도 가능하다.

## 해양공학수조의 기능시설 및 특성

다방향 불규칙파 조파 및 소파장치

해양공학 수조의 다방향 불규칙파 조파장치는 규칙파, 불규칙파, 사파, 다방향파 등 다

양한 형태의 실패역 파를 재현할 수 있다. 이를 통하여 각종 선형, 비선형 파랑현상의 연구뿐 아니라 파랑 중에서의 선박의 내항성능, 조종성능, 안정성 및 전복, 동적 위치 유지성능, 자유항주 시험의 수행과 다양한 해양구조물의 이송, 설치, 운동 시험 등을 수행할 수 있다. 조파장치는 또한 수중기술과 해양오염 방지기술에 관한 시험 등과 같은 실패역파의 재현이 필수적인 각종 연구에 필수적인 장비이다.

해양공학수조의 조파장치는 <그림 3>에 나타난 것과 같이 설비되어 있으며, 방향성을 갖는 파랑을 생성하기 위하여 독자적으로 제어되는 다수의 조파판(폭 0.5m, 길이가 2m)으로 이루어져 있다. 실험수조에 따라 조파판의 높이를 0.0m에서 3.5m까지 변경시킬 수 있다. 조파판은 수조벽을 따라 L자형으로 폭 30m

구간과 길이 56m 구간에 각각 60개와 112개가 L자형으로 설치되는 것으로 설계되어 있으나, 현재('99년 2월)는 56m 구간에 112개가 설치되어 있으며, 이중 88개의 조파판이 구동 가능한 상태이다.

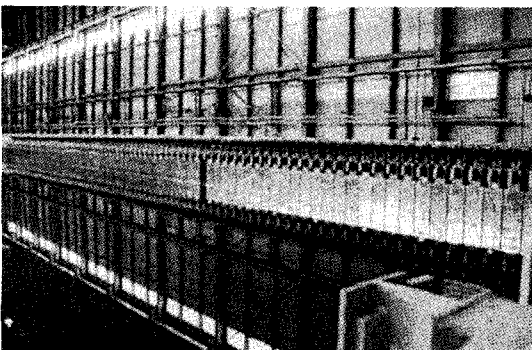
해양 및 해양구조물이나 선박은 주기 5초에서 20초에 이르는 성분파랑의 영향을 주로 받으므로 모형 축척비를 최대 1/20에서 최소 1/80으로 생각하여 주기 0.5~5.0초에 이르는 파랑의 재현이 가능하도록 설계되었으며, 파고는 주기 2.6초에서 최대 0.8m까지 재현이 가능하다. 한편, 실험가능한 수심은 0.5~4.5m이며, 전술한 발생파의 파고 및 주기는 수심에 따라 제약을 받을 수 있다.

해양공학수조를 이용한 해양기술 연구를 위해서는 해양환경을 적절히 재현하는 기술과 입사파가 벽체 및 조파판으로부터 다중반사되어 파랑장이

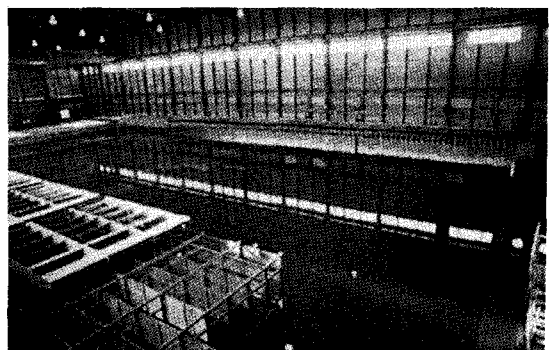
교란되지 않도록 할 수 있는 기술이 요구된다. 따라서, 수조내 발생파의 안정화 및 실험가용 영역의 극대화를 위한 효율적인 소파장치가 필요하다. 해양공학수조의 안정화를 위한 소파장치는 다양한 형식에 대한 성능 비교를 통해 <그림 4>에 나타난 것과 같이 타공판을 이용한 직립식 소파장치를 설계하여 시설하였다.

#### 회류 및 정류장치

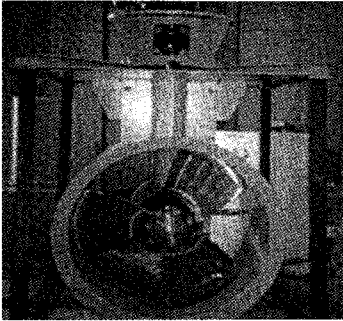
해양공학수조의 회류장치는 수심 2.5m에서 0.5m/sec의 유동을 재현할 수 있도록 설계되어 있다. 이를 위한 회류시스템은 조류발생장치와 정류장치로 대별된다. 조류발생장치의 구동장치는 기계부와 전기부로 이루어져 있다. 기계부는 동력발생장치(모터), 구동축, 기어, 덕트, 임펠러 등으로 구성되어 있고, 전기부는 인버터와 원격조종반으로 구성되어



<그림 3> 다방향 불규칙파 조파장치



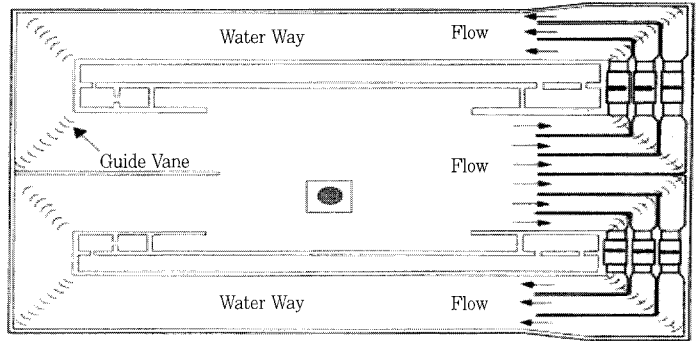
<그림 4> 타공판을 이용한 직립 소파장치



〈그림 5〉 임펠러

있다. 임펠러는 회전수 218.8 rpm에서의 최적직경인 1.4m로 결정하였고, 〈그림 5〉에 제작된 임펠러를 나타내었다. 구동장치는 55kW급 A/C모터 6대가 설치되었고, 제어용 인버터는 정현파 PWM제어방식으로 6기가 설치되었다.

흐름의 안정화를 위한 정류장치는 흡입형 임펠러 6기 좌우에 각각 3기씩 배치하고, 수조 밖에 설치된 도수로와 코너부에 수직 가이드베인을 설치하였다. 한편, 수조 내로 유출되는 흐름의 균일화를 위하여 최종 수직 가이드베인은 수치실험을 거쳐 설계된 후, 〈그림 6〉과 같이 제작 및 배치되었다. 여기서, 2개소는 철근 콘크리트로, 최종 1개소는 FRP로 제작되었다. 또한, 최종 유출구의 45도 경사면 상부에 강제 수평 가이드베인을 설치하여 수조의 내부로 들어가는 유동을 보다 균일하게 하도록 하였다.



〈그림 6〉 회류시스템 및 정류장치

### 바람발생장치

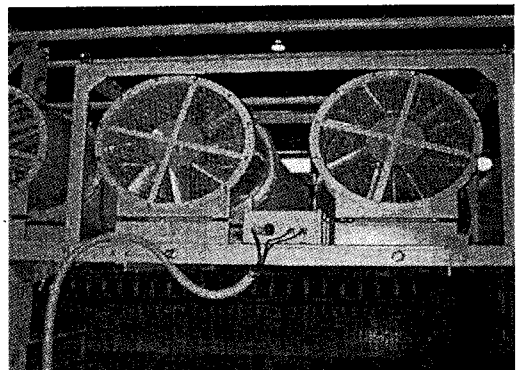
바람발생장치는 Single stage 형 축류 발생시스템으로서 풍속 0.5 ~ 9m/sec가 재현 가능하도록 설계되었다. 이를 위해 캐나다 NRC, 미국 OTRC, 일본 PHRI 등의 실적자료와 연구실적이 참고되었고, 우리 수조의 특성인 수심 변경에 대처하기 위하여 높이 조절이 가능한 (0m~3.5m) 작업대를 설치하고, 그 위에 〈그림 7〉과 같이 바람발생장치용 임펠러를 설치하였다. 작업대는 필요시 다른 실험의 받침대 또는 작업대로도 사용이 가능하도록 되어 있다.

발생풍은 정상풍 뿐만 아니라 실제 해상풍과 같은 변동풍도 발생 가능하다. 재현가능한 변동풍은 sinusoidal spectrum,

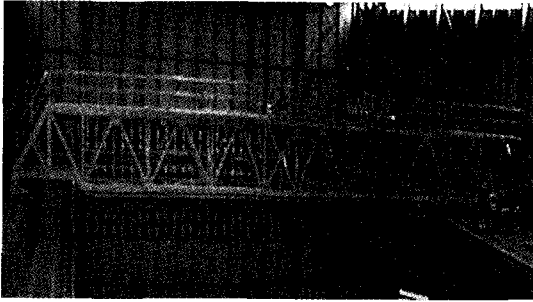
API spectrum, Davenport spectrum, Hino spectrum 등의 특성을 가지는 바람이다. 풍속의 균일화하기 위하여 임펠러 후류측에 정류판과 풍향 조절판을 설치하였고, 팬의 진동이 구조물에 전달되지 않도록 방진판을 설치하였다.

### 작업대 및 기타시설

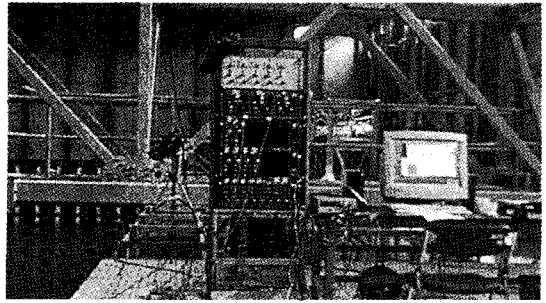
해양공학수조에서의 각종 모형시험을 효율적으로 수행하기 위해서는 수조내의 임의의 위치에 용이하게 접근할 수 있어야 한다. 이를 위해 대형 예인



〈그림 7〉 송풍장치



〈그림 8〉 작업대



〈그림 9〉 계측 및 해석시스템

전차가 설치될 예정이며, 현재는 이동용 작업대를 사용하여 효율적인 운용이 가능하도록 되어 있다. 실험모형의 설치 및 회수, 자료취득 등을 위하여 폭 1.8m의 작업대(〈그림 8〉)가 레일 위에 설치되어 있으며, 이는 최대 1m/sec의 속도로 이동 가능하다. 또한 모형선의 선회성능을 평가하기 위하여 회전반경 10m의 회전팔(rotating arm)을 부착되어 있다.

한편, 해양공학수조에서 실시하는 대부분의 실험은 해양 환경을 재현시켜 놓고, 그 외력환경의 변화 특성을 고찰하거나 선박이나 해양·해안구조

물과의 상호작용 등을 규명함으로써 해양엔지니어링을 가능하게 하는 과정에서 활용될 것이다. 따라서, 재현되는 환경과 그 변화를 계측 및 해석하여야 할 뿐 아니라 구조물의 응답 및 변형 특성도 측정하여야 한다. 이를 위해 다양한 계측장비(〈그림 9〉의 좌측)가 준비되어 있으며, 계측된 자료를 분석 및 정리할 수 있는 해석 프로그램(〈그림 9〉의 우측)들이 준비되어 있다.

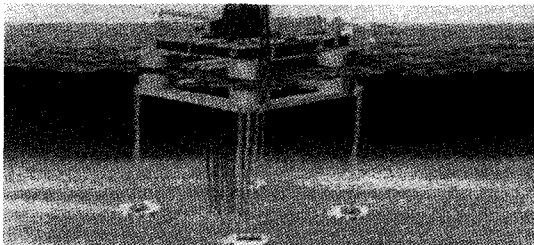
### 해양개발 및 이용을 위한 해양공학수조의 활용방향

해양자원의 지속가능한 이용

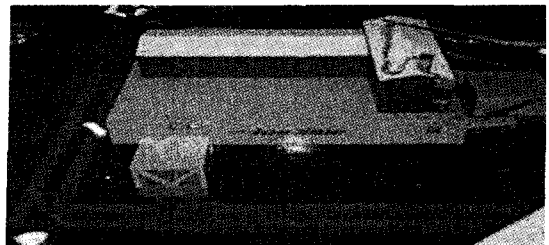
을 위한 다양한 연구 및 개발에 해양공학수조가 활용될 수 있을 것이다. 여기서, 해양공학수조를 활용한 모형시험은 (1)해양구조물 (2)선박 (3)연안구조물 및 항만 (4)해양환경 보전 (5)해양장비 등에 적용가능할 것으로 판단되며, 그 세목은 다음과 같다.

(1) 해양구조물은 해양공간 및 해양에너지 이용과 자원탐사 및 외해양식 등을 위한 기반시설이며, 이들 구조물의 개발 및 설치를 위해 활용할 수 있을 것이다.〈그림 10〉

(가) 고정식 구조물 : 파랑하중과 이에 의한 변형 및 파괴기구 해석, TLP의 파랑



〈그림 10〉 (a) 해양구조물(TLP)



〈그림 10〉 (b) 해양공간이용구조물

응답 해석

(나) 부유식 구조물 : 계류 구조물의 응답, DPS (Dynamic Positioning System), 계류시스템 및 라이저 해석, 초대형 구조물의 파랑응답, 다물체간 상호간섭 해석

(2) 선박은 중요한 해양운송 시스템이며, 선박의 성능 개선, 안전성 평가, 초고속선, 특수선 등의 개발을 위해 활용될 수 있을 것이다. 특히, 자유항주 모형시험에 의한 선박의 안

전성 평가 및 해난사고 예방을 위한 연구 기반으로 활용될 수 있을 것이다.<그림 11>

(가) 운동시험 : 내항성능 (운동, 부가 추력 및 저항 등), 운항안정성(복원력, 전복 시험) 해석

(나) 조종시험 : 선회성능 시험, 자유항주시험, 잠수선박 조종시험

(다) 구난선 및 방제선의 작업성능 평가시험

(3) 연안구조물 개발 및 배치시험 : 파랑 및 유동제어 구

조물의 개발과 이를 최적 배치한 연안역 및 항만개발을 위한 수단으로서 활용할 수 있을 것이다.<그림 12>

(가) 파랑 및 유동제어 구조물 성능해석 및 평가

(나) 항만배치에 따른 항내파고분포 및 해수교환 특성

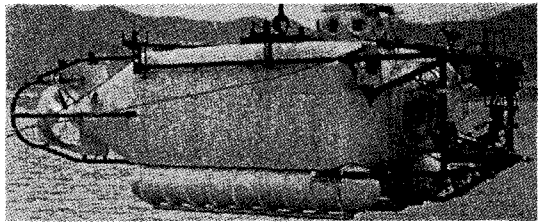
(다) 항내 선체운동 해석 및 선박항행 시뮬레이션

(라) 연안 목장화를 위한 수산 증·양식 시설물의 성능해석 및 평가

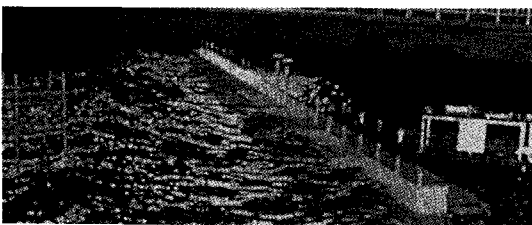
(4) 해양환경보전: 파랑, 흐



<그림 11> (a) 자유항주시험



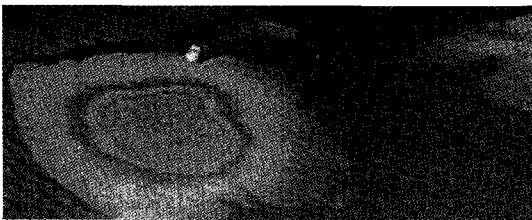
<그림 11> (b) 유인 잠수 조사선



<그림 12> (a) 방파제 주위 파고분포



<그림 12> (b) 부유식 방파제



<그림 13> (a) 해양오염물질의 확산



<그림 13> (b) 해양오염방제장비 실험

름 및 바람의 재현과 자연에너지로서의 이용을 연구할 수 있으며, 이러한 환경에 의해 확산해가는 해양오염물질의 거동 및 방제장비 개발에 활용할 수 있다.〈그림 13〉

(가) 파랑, 흐름, 바람의 재현 및 상호작용과 전파·변형 특성 해석

(나) 해양에너지의 흡수 및 이용시스템 성능해석 및 평가

(다) 해양오염물질의 확산 예측 및 방제장비의 성능평가 실험

(5) 해양장비: 해양개발 및 이용을 위한 각종 조사, 계측 및 작업시스템의 개발을 위한 성능평가 실험에 활용할 수 있을 것이다.〈그림 14〉

(가) ROV 및 AUV의 조종 및 항주, 운동 및 추적, 장애물 회피, 유무선 통신 등의 실험

(나) Sonar system의 센서보정, 고도계측, 위치추적, 수중 초음파 모뎀 장치 등의 성능실험

(다) LDV 및 수중 화상의 취득, 송수신에 대한 성능평가 실험

## 결 언

해양은 자원의 보고로 불리우나 인류가 어떻게 사용하는가에 따라 '어느 만큼 사용할 수 있을 것인가? 언제까지 사용할 수 있을 것인가?'가 정해진다. 이로부터, 해양자원의 지속가능한 개발 및 이용이 강조되고 있다. 이는 해양의 개발이 안전하고 경제적으로 이루어져야 할 뿐 아니라 환경친화적인 방법으로 진행되어 장기적인 관점에서 이용하고 보전할 수 있도록 하여야 함을 의미한다.

이를 위해서는 해양환경을 잘 이해함으로써 거친 해양외력환경에 대해 안정한 기반 위에서 안전하게 접근 및 작업하고, 해양생태환경에의 악영향을 최소화함으로써 쾌적하고 생산성 높게 관리할 수 있을 것이다.

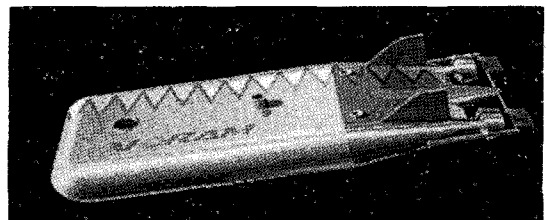
이를 위한 연구기반으로써 설계 및 건설된 선박해양공학 연구센터의 해양공학수조는 실제 해양의 불규칙하고 방향

성 있는 파랑과 흐름 그리고 바람을 재현함으로써 그 전파 및 변형특성을 이해할 수 있게 할 뿐 아니라 이러한 해양외력 환경과 선박, 해안 및 해양구조물, 해양장비의 상호작용을 이해함으로써 최선의 안전성과 기능성을 가진 경제적인 설계방법을 제시할 수 있게 도와 줄 수 있을 것이다. 특히, 불규칙파 뿐 아니라 다방향 불규칙 파랑장에서 해안·해양구조물의 성능평가를 통한 개발 및 최적배치 설계 등에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

이를 위해 해양공학수조는 다방향 불규칙파 조파장치 및 소파장치, 회류장치 및 정류장치, 바람생성장치와 작업대를 완비하고 있다. 또한, 해양 환경 및 해안·해양구조물의 거동을 계측하고 분석할 수 있는 장비 뿐 아니라 이를 효율적으로 운용 및 해석할 수 있는 우수한 연구원들이 대기하고 있어 해양개발 및 이용을 위한 해양공학수조의 활용이 가능할 것이다. ◻



〈그림 14〉 (a) ROV 조종시험



〈그림 14〉 (b) AUV