

## 고성 해양심층수 개발시설의 기본설계 연구

김현주·홍석원·최학선·홍기용·양찬규·홍섭·홍사영·김진하

한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

### Fundamental Design of Development Facilities of Deep Ocean Water Resource at Gosung Sea

H.J. Kim, S.W. Hong, H.S. Choi, K.Y. hong, C.K. Yang, S. Hong, S.Y. Hong and J.H. Kim  
Ocean Development System Laboratory, KRISO, KORDI

**Key Word** : Deep Ocean Water Resource (해양심층수자원), Basic Design (기본설계), Multipurpose Development (다목적 개발), Facilities and Systems (설비)

#### Abstract

Recently, deep ocean water (DOW), which is plentiful in the East sea, has been recognized a global resources for 21st century. To develop DOW resource of 300m deep at Gosung sea, the pipeline of about 4 km long is essentially required to establish land based model complex of DOWA techno-park at coastal zone.

This study aims to establish design procedure of DOW supplying and utilizing systems, and to complete basic design of every major facilities. To design, various numerical analysis and engineering consideration have been studied by cooperative works for practical use.

## 1. 서 론

환경친화적 순환재생형 종합자원인 해양심층수의 다목적 개발을 위한 연구개발 및 실용화 사업이 해양수산부의 국책사업으로 2000년부터 10개년 계획으로 추진되고 있으며, 그 일환으로 육상형 시범개발은 강원도 고성군을 중심으로 검토되고 있다.

해양심층수의 다단계 이용을 위한 학연 공동연구가 개발-이용-관리 요소기술의 개발과 통합 시스템 구축을 위해 진행되고 있으며, 그 기반 조성을 위한 해양심층수 테크노파크의 원활한 전개를 위한 시범단지 계획이 수립되고 있다.

본 연구에서는 고성 해양심층수 테크노파크 시범단지의 연구개발 핵심기반이 될 해양심층수 취수시설의 기본설계에 대한 결과를 보고하고자 하며, 이를 위한 절차 및 해석 기술의 정립을 체계화함을 목적으로 한 것이다.

## 2. 해양심층수시설의 다단계 이용을 위한 설계기준

해양심층수 자원의 다목적 개발 및 다단계 이용은 해양자원의 실용화를 통한 국민 생존권 및 건강권의 확보와 해양 신산업 창출을 통한 연안역 활성화를 목표로 한다. 이를 위한 다단계 이용시스템을 Fig. 1과 같이 고려하고 있으며, 지역산업과 환경을 고려하여 최적화될 것이다.

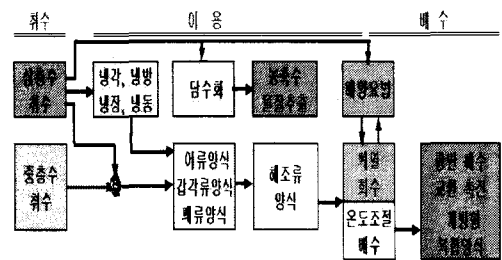


Fig. 1. Cascade utilization system of DOW.

해양심층수의 다단계 이용을 실증하기 위한 시범개발은 비용 최소화 및 편익 최대화를 위하여 200m 이상의 동해 심층수 취수거리가 가까운 강원도 고성을 적지로 추진되고 있다.

시범개발을 위한 적정규모에 대한 경제성 평가(오 등, 2002)를 기초로 하여 취수-급수-이용-배수시설의 기본설계가 이루어 졌으며, 그 목표 기준은 다음과 같다.

- (1) 내구연한 : 30년
- (2) 취수시설 : 수심 300m 지점에서 해양심층수 5,000톤/일을 취수하고, 수심 50m 지점에서 연안저층수 5,000톤/일 취수하기 위한 일체시설(취수펌프 pit, 취수관, 취수구 등)
- (3) 급수시설 : 저수시설 및 급수장치 등으로 구성된 취수관리동 및 관리시스템
- (4) 이용(연구개발)시설 : 연구동 및 전시홍보동 등으로 이루어진 연구개발 기반시설
- (5) 배수시설 : 2,000톤/일 내지 5,000톤/일의 사용 심층수를 환경친화적으로 배수 및 재활용하기 위한 배수관 및 배수구

이 중에서 본 연구에서는 해양심층수의 개발 시설로서 중요한 설계절차 및 해석기술의 정립이 요구되는 취수시설을 중심으로 살펴보고자 하며, 그 절차는 Fig. 2와 같이 설정하였다.

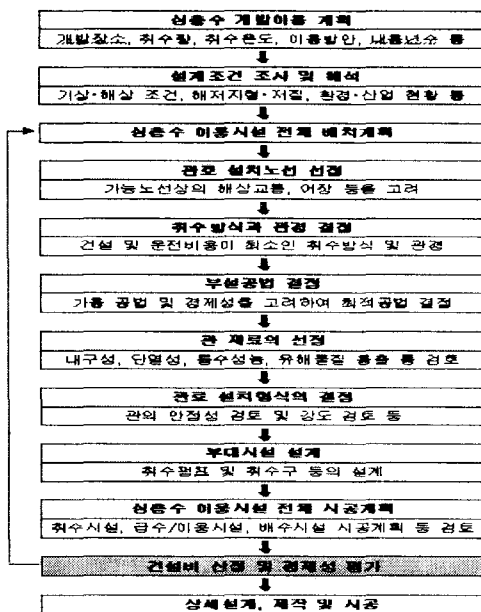


Fig. 2. Design and arrangement procedures.

### 3. 기본설계 조건

설계외력조건의 조사 및 해석은 재현주기 30년의 설계풍속, 설계파, 설계유속 및 설계조위를 대상으로 수행되었고, 공사간 외력조건은 파랑 및 유속 출현 특성과 작업한계 파랑을 기준으로 설정되었다. 또한, 해저지질(지형)에 대한 조사는 탐사장비를 이용한 간접조사로 이루어졌다.

극치통계해석을 통해 재현주기별 순간최대풍속(Fig. 3)과 최대풍속이 추정되었고, 설계파고는 심해설계파(유의파고 7.1m, 유의파주기 11초)에 대해 파랑변형을 계산하여 천해설계파(Fig. 4)의 분포를 산정하였다. 또한, 작업한계파(유의파고 1m, 유의파주기 6초)에 대해서는 Fig. 5와 같이 산정하였다. 설계유속은 수차례의 관측결과(Fig. 6)를 기초로 하여 평상시는 0.5m/sec로 하되, 지역주민의 청문조사를 통해 황천시는 1.0m/sec로 가정하였다. 또한, 설계조위는 천문조(약최고만조위 0.39m)와 기상조(해일기록)를 고려하여 Fig. 7과 같이 산정하여 이용하였다.

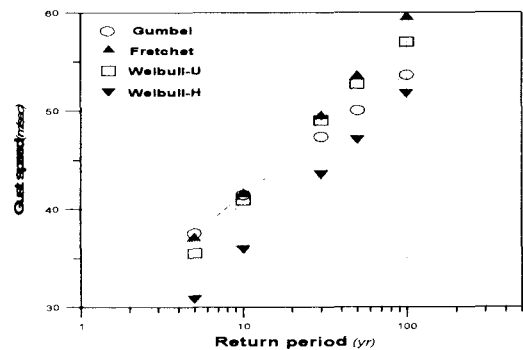


Fig. 3. Estimated design wind speed

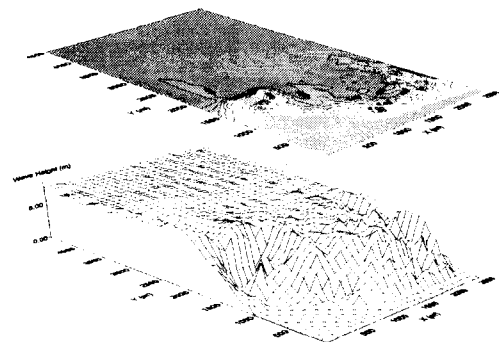


Fig. 4. Distribution of design waves for survival condition at shallow water.

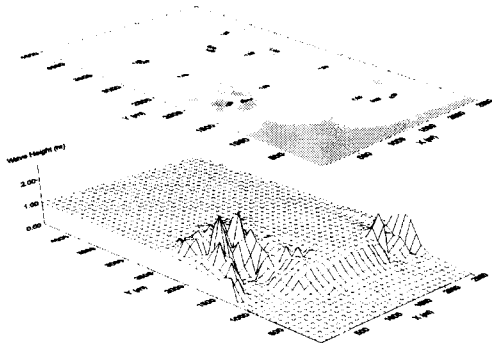


Fig. 5. Distribution of design waves for operational condition at shallow water.

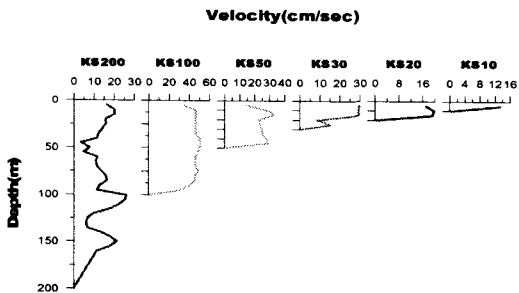


Fig. 6. Distribution of current speed profiles.

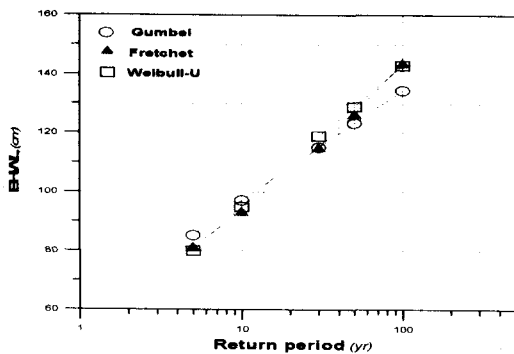


Fig. 7. Estimated design water levels.

#### 4. 개발시설의 전체 배치설계

고성 해양심층수 테크노파크(Fig. 8)는 강원도 고성군 일대에 약 80,000여평 규모로 계획되고 있으며, 시범단지는 최남단에 20,000여평 규모로 계획되어 있다. 개발시설은 취수시설-급수시설-이용시설-배수시설로 구성되며, 취수지점과 가까운 최남단의 죽도 배후에 취수펌프 pit을 시설하고, 취수구까지 관로로 연결하도록 배치한다. 해양심층수는 펌프 pit을 거쳐 취수관리동으로 공급되고 각 이용시설(연구동 및 시범산업



Fig. 8. Bird's-eye view of DOWA tecno-park.

체)로 급수되며, 이용후 배출수는 모아져 수질을 확인하여 배수시설로 방출시킬 수 있도록 배치한다.

### 5. 개발시설의 기본설계

#### 5.1. 관로 설치노선 선정

취수관로는 해저지형 및 저질 조사결과(암조분포, 해저경사 등)를 기초로 하고, 연안개발계획과 해면이용 상황(어장분포, 항로 등) 등을 종합적으로 고려하여 Fig. 9와 같이 선정하였다.

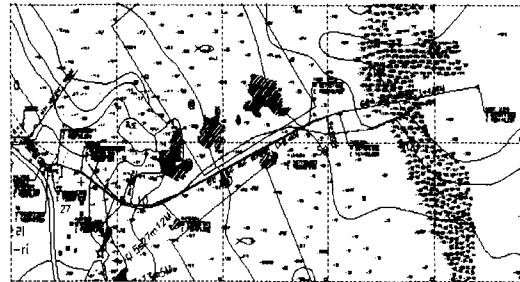


Fig. 9. Pipeline route determined.

#### 5.2. 취수방식 및 관경 결정

취수방식은 목표 취수량(5,000톤/일)을 위하여 펌프양수식으로 결정하였으며, 취수펌프는 예비율을 확보하여 교대 운전하도록 하였고, 관경은 관로 내면마찰 등에 의한 압력손실을 계산하여 내경 300mm로 결정하고, 취수펌프 pit은 10% 여유치를 감안하여 기준면하 9m로 결정하였다(Fig. 10).

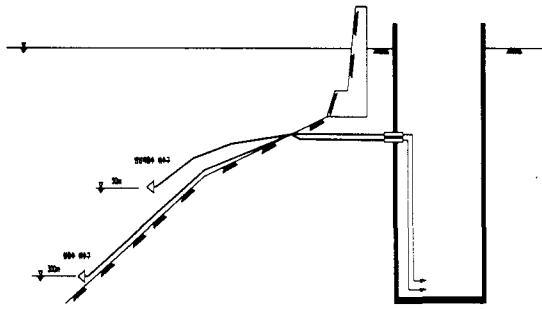
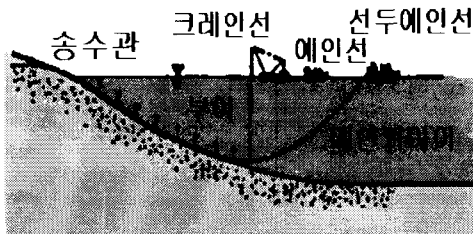


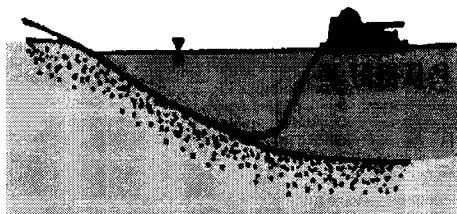
Fig. 10. Schematic view of pump station.

### 5.3. 설치형식 및 설치공법 결정

심층수 취수관로는 해안선 부근의 파력(Fig. 11)과 주변해역에 대한 어로형식 등을 고려하여 해안선부터 수심 50m까지는 매설하는 것으로 하며, 이후에는 해저면에 포설하는 것으로 결정하였다. 이를 위한 취수관 설치공법이 산연공동으로 다양하게 검토되었으며, 경제성 측면에서 연안(매설)부는 해저예인법, 외해부는 릴바이지법을 적용하는 복합공법(Fig. 11)으로 하였다. 한편, 부설부분의 안정성 확보를 위한 소요중량은 작용유체력(Fig. 12(a))을 고려하여 Fig. 12(b)와 같이 결정하였다.

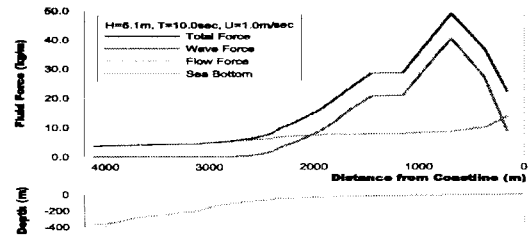


(a) Bottom pulling method

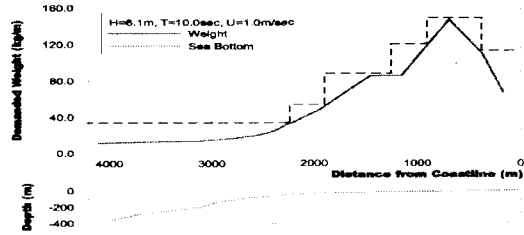


(b) Reel barge method

Fig. 11. Deployment methods of flexible pipeline of DOW.



(a) Fluid force against submerged pipe



(b) Demanded weight of unit pipe length

Fig. 12. Fluid force and demanded weight.

### 5.4. 소요강도 해석 및 관재료 선정

취수관의 선정 및 설치공법과 관련하여 취수관의 소요강도 및 보냉성 등을 해석적으로 검토하였다.

해석대상은 취수관 설치 과정 및 전후의 안정성이며, 설치시 발생단면력에 대한 원주방향 및 축방향 응력, 수중관 연장체의 자중에 의한 인장력(축방향응력) 및 부설선에서 스톱퍼의 축압력에 의한 원주방향 응력 등에 대해 이루어져야 한다.

이를 위해, 극한상황으로 검토하여야 하는 것은 해저면 매설후 상단이 선상에 고정된 경우의 상단 및 하단에 걸리는 굽힘응력과 자중을 견디고 고정시키기 위한 스톱퍼에 의한 축압 등에 대한 안정성이다.

이는 파이프라인뿐 아니라 포설선박(바이지)의 동적거동과도 연관이 있으므로 포설선의 파랑(작업한계파)중 동적응답을 해석하고, 이를 취수관에 대한 강제동요로 입력하여 취수관의 동적응답을 해석함으로써 취약부에 대한 하중 및 소요강도를 해석하고자 하였다.

포설선박의 설치간 동요는 HOBEM을 이용하여 해석하였고, 대상선박(길이 106m, 폭 21m,

높이 6.9m, 홀수 3.7m)은 파이프 준설선으로 선정하였고, 설치간 해양환경은 유의파고 1m, 최대파주기 6.6초의 규칙파 및 불규칙파(ITTC 스펙트럼), 유속 0.5m/sec로 하였고, 수심 50m, 100m, 200m, 300m에서의 응답을 Fig. 13과 같이 산정하였다.

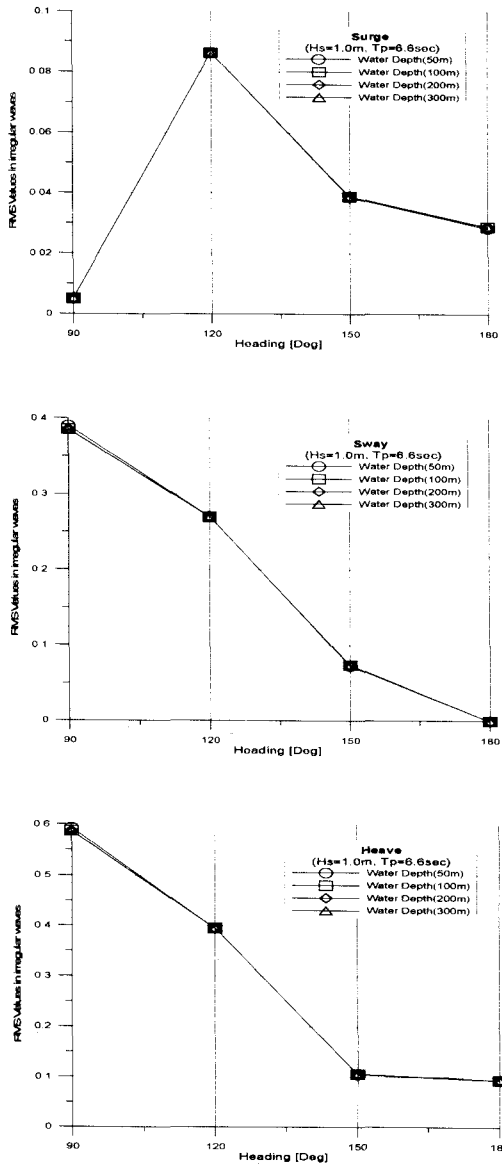
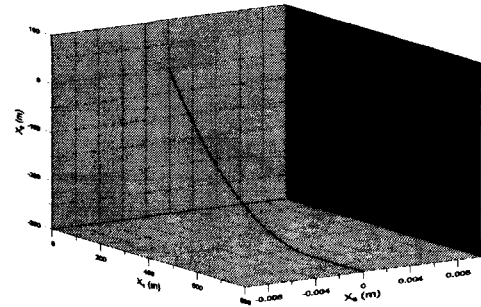


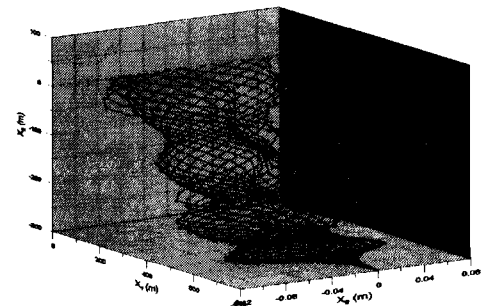
Fig. 13. RMS values at the stern of reel barge in irregular wave.

취수관의 설치간 동적거동은 작업한계 설계외력 조건에 노출된 취수관과 상단에서 포설선에 의한 동요가 작용될 경우에 대해 취수관의 등가 치환 구조강성 모델링을 하고, 집중질량 모델로

해석하여 동적응답을 해석하여 Fig. 14과 같은 결과를 얻었다.



(a) Wave dir.=180°, No current



(b) Wave dir.=120°, Current dir.=90°

Fig. 14. Dynamic response of pipeline.

일련의 해석을 통하여 취수관에 작용하는 최대장력은 55톤 이내였으며, HDPE 파이프만으로는 안전하지 못함을 알 수 있었다.

한편, 전술한 관 재료와 관련하여 소요강도뿐 아니라 보냉성에 대해서도 검토하여 강관에 비해서 HDPE가 양호함을 알 수 있었고, 유연성 및 수질보존 등을 위해 내관은 HDPE로 결정하였다.

따라서, 매설구간은 외부를 강관으로 입히고, 포설구간은 신형식 고강도 유연관(김등, 2003)을 적용하는 것으로 하였다.

### 5.5. 취수관 기본설계

설계외력조건, 취수관 및 설치공법 특성 등을 고려하여 취수관의 기본설계는 Fig. 15와 같이 완성되었다.

즉, 해안선 부근에서는 쇄파력에 안전하기 위하여 매설 방호하며, 이후 매설구간은 유체력 및 어로작업에 대비하여 매설하는 것으로 한다.

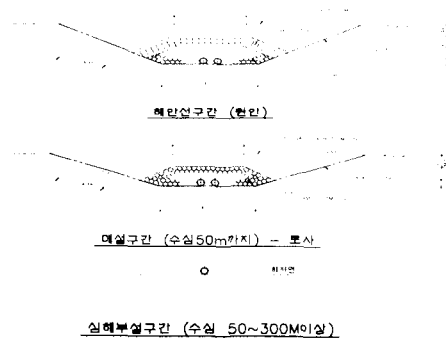


Fig. 15. Standard cross sections

### 5.6. 취수구의 기본설계

취수구는 해저 부유물질이 유입되지 않게 하기 위하여 관 흡입구를 해저면으로부터 약 7m 상부에 위치할 수 있도록 Fig. 16과 같이 설계하였다.

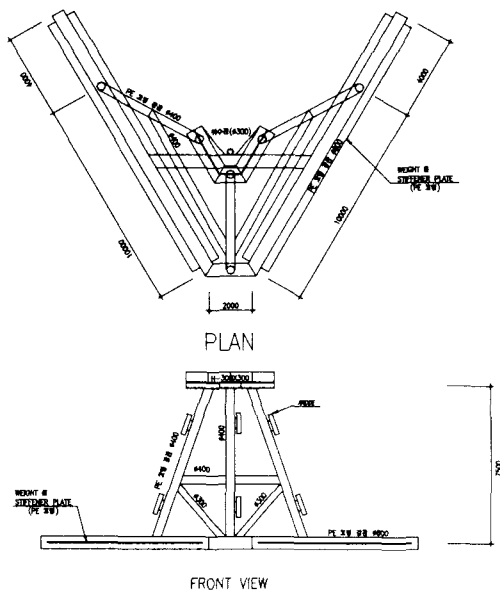


Fig. 16. Design drawing of intake part.

## 6. 결론

최근, 해수자원의 하나로서 해양심층수의 개발 및 이용이 기대를 모으고 있으며, 이는 식수 대책, 대체에너지 이용, 청정 수산식량의 확보 가능성에서 비롯된 것이다. 또한, 부가적 기능으로서 해양심층수 비즈니스에 의한 연안 정주권의 안정화도 중요한 효과의 하나로 인식되고 있다.

본 연구에서는 해양심층수의 다단계 이용을 위한 고성해양심층수 테크노파크의 기반이 될 개발시설의 설계 절차를 정립하고, 각 단계별 해석적 과정을 거쳐 취수시설을 중심으로 한 기본설계 결과를 제시한 것이다.

기본설계 결과는 해양심층수 개발시설의 설계 및 설치기술의 정립을 통한 국산화 및 비용저렴화의 기반이 될 것이며, 육상형 이용모델 구축을 위한 기초로 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 해양수산부가 시행하고 있는 “해양 심층수의 다목적 개발(2)” 연구결과와 일부이며, 산연공동연구에 참가하였던 (주)대우건설 및 관계회사에 감사를 표한다.

## 참고문헌

- [1] 김현주 등 (2000): 동해 심층수의 다목적 개발 기획연구. 해양수산부, p.77.
- [2] 김현주 등 (2001): 해양 심층수의 다목적 개발(1). 해양수산부, p.243.
- [3] 김현주 등 (2001): 해양 심층수의 다목적 개발(2). 해양수산부, p.454.
- [4] 김현주 (2000): 동해 심층수의 특성 및 취수 기술. 해양수산부, 제1회 동해 심층수개발 이용심포지움 요지집, 19~26.
- [5] 김현주 (2000): 동해 심층수의 특성 및 취수 기술. 제1회 동해 심층수개발이용심포지움 요지집, 19~26.
- [6] 양찬규, 홍기용, 윤상준, 김현주 (2001): 해양심층수 취수관의 설계조건 해석. 제2회 동해 심층수개발이용심포지움 요지집, 11~18.
- [7] 오위영, 김현주, 남광현 (2000): 해양 심층수 다목적 개발을 위한 경제성 분석연구. 선박해양기술, 제34호, 147-154.
- [8] 홍섭, 김진하, 최종수, 최학선, 김현주 (2001): 해양심층수 취수시설의 개념설계. 제2회 동해심층수개발이용심포지움 요지집, 19~24.