



수중건설로봇의 필요성 및 개발 방향

장인성·최현택(한국해양연구원), 서진호(포항지능로봇연구소), 김진현(서울과학기술대학교)

요약

최근 들어 녹색 성장과 해양 개발에 맞는 다양한 목적의 해양 구조물이 계획 또는 시공되고 있으며, 대형 해양 구조물에 대한 수요를 바탕으로 해양 구조물이 점차적으로 대수심 조건으로 옮겨가고 있는 추세이다. 이에 따라 미래 시장 예측을 통한 해양 구조물 수요 변화에 대해 미리 대처하고 미래 해양구조물 니즈에 적극적으로 부합할 수 있는 방향으로 해양구조물 시공장비, 특히 수중로봇의 연구개발이 이루어져야 한다. 이 논문에서는 미래 해양구조물에 대한 개발 동향과 함께, 이에 따라 필요한 수중시공로봇의 역할과 기존의 개발 현황, 그리고 최근 기획사업을 통해 도출된 향후 연구개발 방향에 대한 분석내용을 소개하고자 한다.

I. 서 론

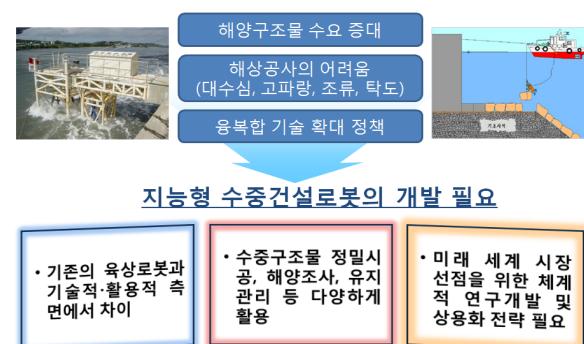
최근 들어 기존의 물류경쟁력 강화와 저탄소 녹색항만(Green Port)을 지향하는 방향으로 항만 건설에 대한 패러다임이 전환되고 있으며, 이에 맞춰 이어도 해양관측기지나 장대 해상 교량, 조력/조류 발전, 해저 터널 등과 같이 녹색 성장과 해양 개발에 맞는 다양한 목적의 해양 구조물이 계획 또는 시공되고 있다. 또한, 대형 해양 구조물에 대한 수요가 늘어날 것으로 예상되고 있으며, 점차적으로 해양 구조물이 대수심 조건으로 옮겨가고 있는 추세로 미래 시장 예측을 통한 해양 구조물 수요 변화에 대해 미리 대처하여야 한다.

지금까지 대부분의 국내 수중 공사의 경우에는 20m 내외 조건에서 잠수부를 활용한 재래식 시공과 공사관리가 이루어지고 있다. 하지만 시공과정에서 허리부상 및 손가락 절단 등

각종 재해의 우려가 있을 뿐 아니라 잠수병 때문에 작업시간이 극히 제한되고, 대수심, 고파랑 등 해상 조건이 열악할 경우 생산성 및 시공의 정밀도가 크게 떨어진다. 이로 인해 다양한 수중 환경을 극복할 수 있는 수중 시공용 로봇의 개발이 필요하다. 여기서의 수중 로봇은 정확한 수중 위치 확보, 수중 시계확보, 방수, 방식, 해저면 이동 등의 측면에서 기존의 육상 로봇과 기술적·기능적으로 큰 차이가 있기 때문에 이에 맞는 연구개발이 필수적이다.

또한 지능형 로봇 기본계획(안)에 따르면, 향후 10년 이후인 2018년 정도에는 수중로봇이 기술선도형 산업 중 하나로 자리매김하며, 이 때에는 로봇원천기술을 돌파하는 단계에 이를 것으로 예상하는 등 정부의 융복합 기술 우선 정책 및 녹색성장 기조를 대변하는 신성장동력산업으로 발전 가능성 이 무한하다 할 수 있다.

본 논문에서는 미래 해양구조물에 대한 개발 동향과 함께, 이에 따라 필요한 수중건설로봇의 역할과 기존의 개발 현황, 그리고 최근 기획사업을 통해 도출된 향후 연구개발 방향에 대한 분석내용을 소개하고자 한다.



〈그림 1〉 수중건설로봇 개발의 필요성

〈Fig. 1〉 Development Necessity of Underwater Construction Robot

II. 미래 해양구조물 개발 동향

1. 대형 해양구조물 수요 증대

최근 초장대 해상교량, 해저터널, 그리고 방재구조물 등과 같은 대형 해상 구조물 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며 향후 이들 구조물의 건설 추진이 예상된다. 특히 2010년 시공이 완료된 부산과 거제를 잇는 거가대교의 경우 대형교량과 침매터널을 혼합하여 건설된 바 있으며, 미국, 유럽, 일본 등지에서는 주요 피해 예상지역에 고조 및 해일에 대비한 대규모 방파제나 수문을 설치하는 등 적극적인 움직임을 보이고 있다.

2. 해양에너지 플랜트 건설 가시화

세계적인 그린에너지에 대한 관심에 힘입어 조력발전, 조류발전, 파력발전, 해상풍력발전 등 무공해 해양에너지 개발에 우리나라를 비롯한 세계 각국의 관심이 집중되고 있다. 조력발전의 경우 이미 완공된 시화조력발전소를 비롯하여, 가로림 조력발전소나 인천만과 강화 조력발전소 등이 계획 중이다. 조류발전의 경우 2009년 울돌목에 시험조류발전소가 준공되어 실증실험단계에 있다. 해상풍력 발전단지는 유럽의 덴마크, 영국, 독일 등에서는 활발하게 활용 중이며, 우리나라에서는 2019년까지 2.1GW의 풍력단지 개발을 추진 중이다



〈그림 2〉 시화호조력발전소
Fig. 2) Tidal Energy Plant at Shiwha



〈그림 3〉 울돌목 조류발전소
Fig. 3) Tidal Current Energy Plant at Uldolmok

(지식경제부, 2010). 이러한 해상풍력 발전단지 건설을 위해서는 여러 종류의 지반공사가 필요한데, 그 중 지지력 발현을 위해 모노파일이나 중력식, 혹은 석션 타입의 기초를 사용할 수 있다. 이 때 모노 파일식 해상 풍력 기초의 경우 해상에서 항타가 가능하나 중력식 기초나 석션 기초의 경우에는 기초 저면에서의 공사가 매우 중요하다.

단일 에너지원이 아닌 에너지원 복합발전을 위한 개념으로 기획사업이 진행 중인 에너지섬의 경우 〈그림 4〉와 같이 부력식으로 해상에 뜨는 형태를 지니며, 섬 내부에 해상풍력 발전단지는 물론 해수온도차 발전을 하는 에너지 생산중용 섬을 만드는 개념과 풍력발전이 자연 여건에 따라 일정하지 않은 전력을 생산하는데 착안을 두어, 조과 발전이 될 경우에는 풍력에너지를 이용하여 섬 내부로 해수를 담아 발전이 어려울 시 담수를 이용하여 발전량을 보충해주는 상호 보완 형식의 복합발전 시스템 개념(그림 5) 등이 있다.



〈그림 4〉 에너지섬 구상도 I
Fig. 4) Conceptual Diagram of Energy Island – I



〈그림 5〉 에너지섬 구상도 II
Fig. 5) Conceptual Diagram of Energy Island – II

3. 해저 및 해상 공사

이어도와 가거초 해양관측기지 등 해양과학 기지를 비롯하여 해양자원개발을 위한 다양한 목적과 형태의 해양구조물 수요가 창출될 것으로 예상된다. 또한, 해저 케이블 매설의 경우 수심이 깊은 곳에서 무인 로봇을 이용하여 3m 깊이로 땅을 파고 두개의 도랑을 만들어 해저 케이블을 매설하고, 콘크리트로 메우는 작업을 할 수 있다.



4. 미래시장 예측 결과

다양한 미래시장 산업(분야)를 대상으로 예측 시장규모를 제시하면 아래와 같다(한국해양연구원, 2010, 서진호 외, 2011)

〈표 1〉 해양구조물 분야에 따른 미래시장 예측
(Table 1) Market Prediction regarding to Offshore Structures

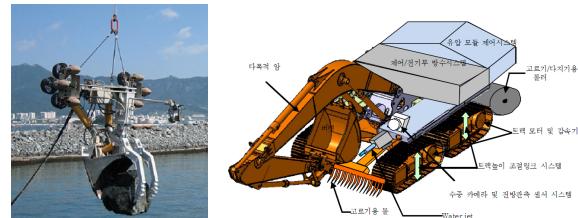
산업	시장 규모
초장대 해상 교량	2011년 세계시장 140조 2011년 국내시장 7조
인공섬	2020년 약 250조 2020년 한국시장 약 10조 (\$1 = ₩1,000 계산)
조력 발전	국내에서 현재 시공중이거나 추진 중인 조력 발전 시장은 대략 7조 가량임
조류 발전	현재 진행되거나 검토중인 국내 조류발전 시장은 1.7조
해상 풍력	해상풍력발전 설비 건설비용은 약 80조 가량임
CCS	2030년 CCS 시장 규모는 4,529억불 (450조) 시장으로 성장 예상
해저 파이프라인	연간 \$10억불 (1조) 임
해저케이블	연간 10억불 (1조) 가량의 마켓

III. 국내외 수중건설로봇 기술동향

1. 국내기술동향

국내의 방파제나 호안을 건설하기 위한 수중공사는 깊은 수심, 높은 파도와 같은 자연환경 때문에 작업환경이 열악하여 안전사고가 빈번히 발생하고 있으며, 특히 잠수부의 인력을 이용하는 재래식 방법에 의존하는 형태여서 사고발생 위험이 높고 시공효율이 낮으며 공사의 품질관리나 감독이 사실상 불가능하다. 이러한 현실적인 요구에 의해 2003년부터 창원대학교에서 대수심에서 2~3톤 규모의 사석을 쌓는 위험한 작업을 하는 원격조정 시공이 가능한 항만공사용 수중로봇 Stone Man과 Stone Dive(그림 6a)를 개발하였다(국토해양부, 2008). 또한, 한국해양연구원은 창원대학교와 함께 항만 수중공사에 필요한 수중 사석고르기, 굴삭작업을 경제적이고 효율적으로 수행할 수 있는 수중 기계화 굴삭장비 및 무인 수중 운용 시스템 개발 사업을 2009년부터 수행 중이다(그림 6b). 이 사업은 수심 20m까지 원격조정으로 수중 무인 기계화시공이 가능한 모니터링 시스템 및 운영 시스템 개발, 현장 실해역 검증실험을 통한 성능평가 및 실용화를 목적으로 하고 있다.

해양 지반조사 로봇을 위한 국내 개발현황으로는, 한국해



(a) Stone Diver

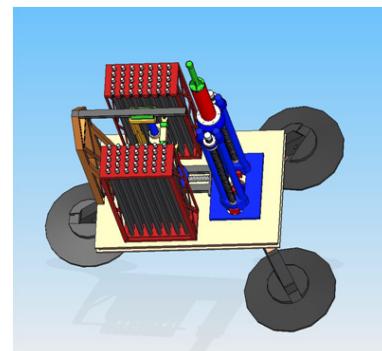
(b) 수중 무인 기계화 장비(안)

〈그림 6〉 항만공사 수중로봇

(Fig. 6) Underwater Robots for Harbor Construction

양연구원에서 연약한 해저지반의 공학적 특성을 정확하게 파악하여 설계에 적용할 수 있도록 도와주는 ‘해양 콘관입시험기’ 을 2002년부터 2007년까지 국내 독자적인 기술로 연구 개발하였으며(국토해양부, 2007), 2009년부터는 〈그림 7〉에 나타난 바와 같이 국토해양부의 초장대 교량사업의 일환으로 대형 해상기초의 효율적 설계를 위한 해저지반조사용 보링로봇 개발 연구를 수행하고 있다(장인성 외, 2011).

국내 해양탐사 로봇의 대표적 ROV는 바다 속에서 원격 조종이 가능하며 해상으로 바닷속 정보를 전송해주는 장치를 말하는 것으로, 한국해양연구원에서는 2006년에 세계에서 4 번째로 6,000m급 무인잠수정 해미래를 개발하였다. 해미라는 각종 계측장비와 8대의 수중카메라, 위치추적장치, 그리고 탐사와 수중 작업에 필요한 2개의 로봇팔이 장착되어 있고 6개의 전동추진기를 이용하여 모든 방향으로 이동이 가



〈그림 7〉 해저지반보링로봇 개념도

(Fig. 7) Concept Design of Underwater Boring Robotic



〈그림 8〉 심해저 채광로봇

(Fig. 8) Mining Robotic for Very Deep Sea

능하고 모선으로부터 유선을 통해 원격조정을 하는 시스템이다(이종무 외, 2009).

이 이외에 심해 광물탐사 로봇은 1994년부터 우리나라 심해저 광구에 부존되어 있는 심해저 망간단괴의 상용화를 위한 핵심원천기술인 심해저 집광시스템 및 통합 채광운용기술의 개발이 이루어지고 있다(그림 8).

2. 해외기술동향

일본에서 수중공사에 적용하고 있는 로봇 중에서 대표적인 장비로는 수중굴삭장비(back hoe)가 있으며 육상에서 운전자가 조정하는 것과 같은 방식으로 수중에서 잠수부가 직접 조정을 하는 형태로 장비의 동력은 상부에서 연결된 케이블을 통해서 공급하고 있다(그림 9a). 프랑스에서는 Nexans社의 해저용 원격조정 굴삭기인 SPIDER ROV를 개발하여 사용 중이며(그림 9b), 이 굴삭기는 6개의 수중카메라 시스템과 음파센서, 압력센서, 기압센서 등의 여러 센서 시스템을 구비하고 있고 해상의 조종사는 화면을 통하여 전송되는 데이터를 바탕으로 100~200mm의 정밀도로 굴삭기를 조정한다.

파이프라인 굴착 매설 로봇으로 <그림 10>과 같이 영국의 Soil Machine Dynamics에서 개발한 UT-1 Ultra Trencher 등과 같이 다양하게 활용되고 있다. 이 로봇의 경우 해저면에서 오일과 개스 파이프라인을 매설하거나 통신에 필요한 케이블을 설치하는데 사용되며, 여러 종류의 해저 지반조건에서 2.5m깊이까지 굴착하고 매설할 수 있다. 수중 최고 시속은 3knots이다.



(a) 사석고르기장비 (일본) (b) SPIDER ROV

<그림 9> 수중 무인 굴삭기
(Fig. 9) Underwater Unmanned Excavator



(a) UT-1 (b) 작업 개념도

<그림 10> 파이프라인 매설 로봇
(Fig. 10) Buried Pipeline Robots

환경조사관리 로봇으로는 ALISTAR 3000은 해저면에 매설되거나 드러나 있는 파이프라인을 추적하도록 설계된 로봇으로서, 이 로봇은 소나를 이용하여 파이프라인을 따라서 이동하며 파이프라인이 매설되어 있는 경우에는 자기력을 이용한 시스템을 이용하고 신호를 읽어버린 경우에는 원래 자리로 되돌아가 재 반복하도록 프로그램 되어 있다.

해저 지반조사 로봇에는 호주의 Benthic Geotech Pty LTD에서 개발한 PROD(Portable Remotely Operated Drill)는 해저 착저식으로 운용되는 해양지반조사 전용 장비이다(그림 11a). 다목적 해상공사 로봇으로는 Tigerlynk는 중장비 해상 공사를 위해 Holland Industrial Marine inc에서 개발한 장비가 있으며(그림 11b), 미국 루이지애나주의 파손된 제방 수리나, 미네소타의 붕괴된 다리 등을 재건하는데 적용되었다.

그 이외에 일본의 URAKAI Research Development Lab에서 제작한 저 세척로봇은 두 개의 빨판을 이용하여 벽면을 이동하면서 세척을 할 수 있으며 파이프 내부의 청소나 창문 또는 선저 청소에 적용할 수 있으며, 수중 구조물 조사 로봇 개발현황으로는, 미국에서 터널의 진단 상태를 파악하는 수중 운송체로 REMUS TIV(Tunnel Inspection Vehicle)을 2003년도에 개발하여 도수관에 활용한 실적을 보유하고 있고 스페인에서는 Tartina Hydro Dam 제체의 수중 상태 조사를 위한 목적으로 ROV를 활용한 사례가 있다.



(a) PROD 장비 진수모습 (b) 환경조사용 로봇

<그림 11> 지반조사 및 해상공사 로봇
(Fig. 11) Underwater Robots for Ground Investigation and Marine Construction

IV. 수중건설로봇의 역할

수중건설로봇은 <그림 12>에 나타낸 바와 같이 수중 작업 효율성 증대나 잠수부 작업에 대한 안전성 증대, 열악한 해양 환경에 대비할 수 있는 목적 이외에도 무엇보다 미래 해양구조물 니즈에 적극적으로 부합할 수 있어야 하며, 이에 맞는 방향으로 개발되어야 한다.

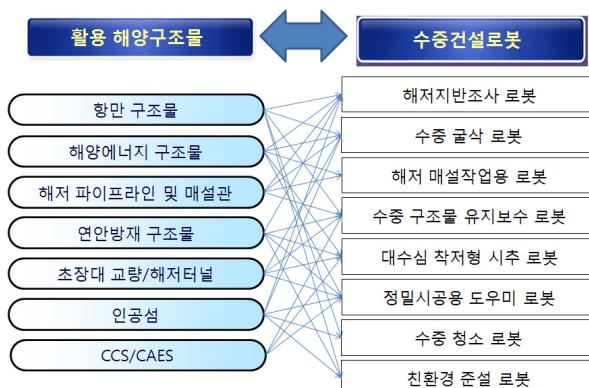
이런 측면에서 항만 및 연안 구조물에 대한 정밀 시공 분야 이외에도 연안 환경 및 재해 관련 관측 조사, 해양 구조물 정밀 설계를 위한 해양 조사, 수중 시설물 유지관리 등 다양한



〈그림 12〉 수중건설로봇의 역할
 (Fig. 12) Role of Underwater Construction Robotics (장인성, 2010)

분야에서 활용 가능할 것으로 예상되어지며 국가 지정학적 특성 및 국가 산업발전의 추이를 고려할 때 다양한 수중 환경조사 및 유지보수 사업의 시장성은 상당할 것으로 기대되어진다.

특히, 최근 관심이 급증하고 있는 기후변화에 따른 연안구조물 재해 관측 조사를 통해 구조물 설계 및 시공에 직접 활용가능하고 무인화 장비에 첨단기술(통신, 계측, IT 등)을 접목해 장비의 기능을 높여 수중 구조물에 대한 진단 및 보수에 활용될 수 있다. 또한, 수중 환경피해 저감을 위한 목적으로 유압장치 대신에 수압을 활용하는 구동시스템 개발 등 수중로봇과 관련한 핵심원천기술 확보 전략 수립 필요하며 대수심용 계류시설이나 해저 파이프라인 등의 시공 등을 위한 목적으로 해저 광대역 표층 지반에 대해 신속·간편하면서도 정밀한 물성 파악을 위한 지반조사 장비도 필요할 것이다. 〈그림 13〉은 미래시장 규모가 클 것으로 예상되는 해양구조물과 수중건설로봇의 관계를 도식화하여 나타낸 것이다.



〈그림 13〉 해양구조물 vs. 수중건설로봇
 (Fig. 13) Offshore Structure vs. Underwater Construction Robotics

V. 수중건설용 로봇에 대한 R&D 방향(안)

수중건설용 로봇의 연구개발 방향을 검토하기 위해 한국

해양연구원에서는 로봇분야를 비롯하여 토목 및 건설 분야, 경제분야 등 다양한 전문가들을 활용하여 기획연구를 수행하였다(한국해양연구원, 2010).

이 기획사업에 따르면 수중건설로봇의 연구개발사업은 21세기 해양시대, 녹색성장 강국으로 발전하기 위한 수중로봇 분야에 대한 새로운 비전과 전략을 제시하며, 선진국의 기술 수준을 따라잡는 캐치업(Catch-Up) 수준이 아니라 향후 10년 이내에 수중건설로봇 관련 글로벌 시장을 주도하고 세계 5위권 이내로 진입할 수 있는 실용화 상품을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

해양구조물에 대한 미래니즈에 맞춰 수중조사 및 관리기술군, 수중시공기술군, 핵심원천기술군 등 3가지 핵심기술군으로 구분하였으며, 각 기술군에 대하여 정량적·정성적 연구목표를 세부적으로 수립하였다. 여기서, 가능한 구체적이면서 명시적·정량적 연구목표를 설정하고자 하였으며, 이 목표에 따라 전략개발상품을 도출하였는데, 아래와 같이 총 4단계의 과정을 진행하였다.

- 여기서의 전략개발상품은 미래해양구조물 건설에 직·간접적으로 활용되는 기술 및 장치 등을 포함하고 있으며 개별적으로 상품화하여 활용될 수 있는 품목들을 대상으로 하였다.
- 1단계 (기술군 분류) : 미래 이슈, 정책, 시장 등의 분석을 통해 3개의 핵심기술군 분류·선정
- 2단계 (기술군별 필요상품 도출) : 핵심기술군에 따른 세부 목표를 달성하기 위한 필요상품을 도출
- 3단계 (전략개발상품 도출) : 핵심기술군별 필요상품을 대상으로 중복성, 상호 연관성 및 전략적 추진방향 등을 고려하여 정리 및 그루핑(grouping) 작업을 통해 전략개발상품 도출 (전문가 델파이 기법을 활용)
- 4단계 (전략개발상품 우선순위 선정) : 전략개발상품에 대하여 매력도-적합도 분석 및 경제성 분석을 통해 우선순위를 정하여 연구개발 추진전략 수립시 상품별 R&D 사업 시점 결정 등에 활용



〈그림 14〉 수중건설용 로봇의 전략개발상품 도출순서
 (Fig. 14) Determination Process of Strategic R&D Robotics for Underwater Construction

〈그림 14〉는 중점개발상품의 도출순서를 도식화하여 나타낸 것이다.

〈그림 15〉는 각 핵심기술군 별로 도출된 전략개발상품을 나타낸 것이고, 〈그림 16〉은 전략개발상품과 세부목표의 연계성을 나타낸 것이다.

한편, 첨단수중건설로봇 연구개발사업의 경제성 분석결과는 〈표 2〉에서 요약되어진 것처럼 3가지 핵심기술군에 대한 평균 편익/비용 비율이 7.83으로 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.



〈그림 15〉 전략개발상품
〈Fig. 15〉 Strategic R&D Robotics for Underwater Construction



〈그림 16〉 수중로봇 활용 개념도
〈Fig. 16〉 Application Concept of Underwater Robot

〈표 2〉 경제성 분석결과표
〈Table 2〉 Analysis Results of Economic Feasibility

연도	수중 조사 및 관리 로봇	수중 시공 로봇	핵심기반 (원천) 기술	사업 전체
순현재가치 (백만원)	236,496	354,272	295,615	971,359
편익/비용 비율	6.84	7.01	7.93	7.83

공 분야 이외에도 연안 환경 및 재해 관련 관측 조사, 해양 구조물 정밀 설계를 위한 해양 조사, 수중 시설물 유지관리 등 다양한 분야에서 활용 가능하며, 국가 지정학적 특성 및 국가 산업발전의 추이를 봐서 다양한 수중 환경조사 및 유지 보수 사업의 시장성이 상당할 것으로 기대된다.

본 연구사업의 경우, 2011년 6월 현재 ‘첨단수중시공로봇 연구개발사업’의 명칭으로 국가에서 집중적으로 논의되고 있으며, 향후 구체적이면서도 집중적인 연구개발이 진행될 것으로 기대된다.

Acknowledgment

본 연구는 국토해양부 및 한국해양과학기술진흥원 지원으로 한국해양연구원에서 수행한 연구기획평가사업 기획연구 보고서(R&D/20090245, BSPM 55240-2169-2)를 기반으로 구성되었다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부, “해양콘관입시험기 개발,” 2007. 12.
- [2] 국토해양부, “수중 항만공사 기계화 시공 장비 개발,” 2008. 12
- [3] 서진호 외, “민수분야용 수중로봇 개발동향,” 수중로봇 기술연구회 2011년 춘계워크숍, 2011.5.
- [4] 이종무 외, “원격제어 수중로봇(ROV) ‘해미래’의 설계”, 한국로봇학회지 제6권 제4호, 2009년 10월, pp.4-11.
- [5] 장인성, “해양구조물 미래개발동향 및 수중건설로봇의 역할,” 첨단수중시공로봇 국제워크숍, 2010.11.
- [6] 장인성 외, “수중 무인 지반조사장비 현황 및 개발 방향,” 해양공동학술대회 2011년 학술발표회, 2011.6.
- [7] 지식경제부, “해상풍력추진로드맵,” 2010.11.
- [8] 한국해양연구원, “수중작업능력 고도화를 위한 다기능 지능형 수중로봇 개발 기획연구,” 연구기획평가사업 기획연구보고서, 2010.1.

VI. 결 론

수중 건설용 로봇은 항만 및 연안 구조물에 대한 정밀 시



장 인 성

1993년 2월 서울대학교 토목공학과 학사학위
1995년 2월 서울대학교 토목공학과 석사학위
2001년 2월 서울대학교 토목공학과 박사학위
2001년 3월~2002년 12월 한국해양연구원 연수연구원
2002년 12월~2009년 2월 한국해양연구원 선임연구원
2006년 2월~2007년 2월 Univ. of Texas at Austin, Post.
Doc.
2009년 3월~현재 한국해양연구원 책임연구원
(관심 분야) 수중건설로봇, 해양구조물



서 진 호

1993년 2월 한양대학교 수학과 학사학위
1998년 2월 부경대학교 기계공학과 석사학위
2002년 3월 일본 동경공업대학교(TITech) 제어시스템공
학과 박사학위
2002년 3월~2006년 2월 부경대학교 기계공학부 강사
2002년 6월~2004년 6월 해양산업개발연구소 전임연구원
(겸직)
2003년 6월~2006년 2월 동아대학교 국가지정연구실
Post. Doc.
2006년 4월~현재 포항자능로봇연구소 본부장



최 현 택

1991년 2월 한양대학교 전자공학과
1993년 2월 한양대학교 대학원 전자공학과 공학석사
2000년 8월 한양대학교 대학원 전자공학과(제어 및 로보
틱스) 공학박사
1993년 3월~1995년 8월 KT 연구개발원 S/W 연구소 전
임연구원
1996년 9월~2000년 2월 한양대학교 컴퓨터교육위원회
강사
2000년 2월~2000년 10월 KT 연구개발원 멀티미디어 연
구소 전임연구원
2000년 11월~2003년 10월 하와이 주립대학교 기계공학
과 Post-Doc
2003년 11월~현재 한국해양연구원 책임연구원



김 진 현

1998년 2월 포항공과대학교 기계공학과 학사학위
2000년 2월 포항공과대학교 기계공학과 석사학위
2005년 8월 포항공과대학교 기계공학과 박사학위
2001년 8월~2001년 12월 Univ. of Hawaii 교환연구원
2005년 8월~2005년 12월 한국생산기술연구원 전문가
2006년 1월~2007년 2월 한국생산기술연구원 선임연구원
2006년 3월~2007년 2월 과학기술연합대학원 대학교 시
간강사
2007년 3월~현재 서울과학기술대학교 기계공학과 조교수