

수중 고르기 장비의 건설 공정 및 효율성 분석

원덕희¹, 장인성^{1*}, 신창주¹

¹한국해양과학기술원 연안공학연구본부

Investigation on Construction Process and Efficiency of Underwater Construction Equipment for Rubble Mound Leveling works

Deokhee Won¹, In-Sung Jang^{1*}, Changjoo Shin¹

¹Coastal Engineering Division, Korea Institute Ocean Science & Technology

요약 항만 구조물인 케이슨 및 블록 등을 수중에 거치하기 위해서는 기초사석을 투하하고 이 위에 구조물을 설치한다. 이때 기초 사석은 상구조물을 지지하기 위한 기초 토대로서 사석의 규격, 비중, 중량 모양 및 치수 등이 균일하고 치밀하여야 하며 선정시험을 통과한 사석만을 사용하여 시공하여야 한다. 또한 이러한 기초 사석을 고르게 만들어 주는 작업 구조물의 거치 이전에 반드시 이루어 져야 한다. 본 연구에서는 수중 고르기 작업 공정의 무인화를 위하여 수중 고르기 및 굴삭용 무인기계 뿐만 아니라 무인기계화 시공을 위한 원격제어용 운영시스템, 수중 물체 인식 및 수중위치 분석을 위한 수중 환경 모니터링 시스템이 개발되었다. 본 장비는 육상 및 수중 테스트를 통하여 검증을 완료 하여 우수한 성능을 확인하였다. 그러나 현장에 본 장비를 투입하기 위해서는 성능뿐만 아니라 건설 공정의 제안 및 분석 그리고 효율(경제성)이 분석되어야 한다. 본 연구에서는 수중고르기장비의 성능 및 기능, 건설공정절차, 기존의 공법과의 비교 분석하였다. 분석결과 기존의 잠수부를 투입하는 건설공법에 비하여 경제성, 효율성, 안전성이 향상되는 것으로 확인되었다.

Abstract A mound was constructed to install a caisson and sofa blocks underwater. The mound riprap, which were of uniform grade, size, shape, and specific gravity, formed the foundation for the support superstructure. Also, rubble leveling works were performed before installing structures such as caissons. In this study, underwater construction equipment was developed with a remotely controlled operating system and underwater environment monitoring system for unmanned underwater rubble leveling work. The performance of the developed equipment was verified using on-land and underwater tests. In addition to the performance verification, the construction process and economic efficiency of the equipment should be checked before applying it to the real construction field for commercial purposes. In this paper, a construction process using the developed equipment was proposed and compared with the existing rubble leveling method. The results demonstrated that the new construction method has higher economic efficiency and safety than the existing construction method.

Keywords : Underwater construction equipment, rubble leveling, performance, construction process, economic efficiency

1. 서론

항만 구조물인 케이슨 및 블록 등을 수중에 거치하기 위해서는 기초사석을 투하하고 이 위에 구조물을 설치한

다. 이때 기초 사석은 상구조물을 지지하기 위한 기초 토대로서 사석의 규격, 비중, 중량 모양 및 치수 등이 균일하고 치밀하여야 하며 선정시험을 통과한 사석만을 사용하여 시공하여야 한다. 또한 이러한 기초 사석을 고르게

이 논문은 2015년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해양개발용 수중건설로봇 사업단, PJT200539)

*Corresponding Author : In-Sung Jang(Korea Institute Ocean Science & Technology)

Tel: +82-31-500-4821 email: isjang@kiost.ac.kr

Received March 24, 2016

Revised May 9, 2016

Accepted May 12, 2016

Published May 31, 2016

만들어 주는 작업 구조물의 거치 이전에 반드시 이루어져야 한다. 기초 사석은 매우 중요하기 때문에 항만 및 어항설계기준 2014[1]는 편평하거나 세장하지 않고 견정, 치밀, 내구적이며, 풍화나 동결융해로 파괴가 될 염려가 없는 것으로 정의하고 있다. 또한 압축강도가 30MPa 이상이면서 전단강도가 0.02MPa, 내부 마찰각 35도로 성능 규정을 하고 있다. 기초 사석이 고르지 않고 제대로 다짐이 되지 않을 경우에 상부 구조물이 부등침하가 발생하여 구조물 안정성에 큰 문제가 될 수 있다.

현재 일반적으로 적용되고 있는 수중고르기 작업은 사석 투하 이후에 잠수부들이 작업 위치에 들어가서 울석을 받고 비개 파이프를 밀고 다니면서 수중에서 고르기 작업을 수행한다. 본 시공 방법은 많은 위험성이 따르고 있기 때문에 수중 작업의 효율성이 상당히 떨어지고 건설 품질의 확인이 불가능하여 품질관리가 어려운 단점을 가지고 있다.



Fig. 1. The underwater human mini-excavator[2]



Fig. 2. The stone diver[3]

이러한 수중 고르기 작업의 비효율성을 탈피하기 위해서 국내에서는 Fig 1에서 보는 바와 같이 (유)한국해양개발공사에서는 유인 수중 미니굴삭기를 개발하여 암석과 자갈 등 사석제거 작업에 투입하였으나 수심이

10m 이내로 제한되고 유인으로 운영되기 때문에 시야확보가 되지 않을 경우에는 효율성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이 밖에도 Fig 2와 같이 수중방파제 피복 작업할 수 있는 Stone Diver 등이 개발되었다.

국외의 경우 일본에서 적극적으로 개발을 하였는데 육상의 굴삭기를 수중에서 작업할 수 있도록 Fig. 3과 같이 개발하였으나 유인으로 움직여야 하기 때문에 작업 효율성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이에 일본의 PARI와 Toa건설은 Fig 4와 같은 무인 굴삭기를 개발하여 현재 현장에 투입하여 시공을 하고 있다.



Fig. 3. The underwater human excavator[4]



Fig. 4. The yellow magic (underwater manless excavator)[2]



Fig. 5. The underwater equipment for rubble mound leveling(UX-100) [5]

이렇게 국내의 수중 건설의 무인기계화 시공을 위하여 수상 원격제어, 수중 환경 모니터링 시스템, 수중 기초사석 고르기 및 굴삭용 무인 기계화 장비를 Fig. 5와 같이 개발하였다. [5] 본 장비는 육상 및 수중 테스트를 통하여 검증을 완료 하여 우수한 성능을 확인하였다. 현재 실용화 과정에 있다. 그러나 현장에 본 장비를 투입하기 위해서는 성능뿐만 아니라 건설 공정의 제안 및 분석 그리고 효율(경제성)이 분석되어야 한다. 본 연구에서는 수중고르기장비의 성능 및 기능, 건설공정절차, 기존의 공법과의 비교 분석하였다.

2. 수중기초 사석 고르기 작업 공정

수중 기초 사석 고르기 작업은 Fig. 6와 같이 케이슨 시공에 많이 적용되고 있다. 케이슨을 설치하기 이전에 해저지반의 준설이 필요하며, 준설이후에는 사석을 투하하여 사석 마운드를 조성해야 한다.

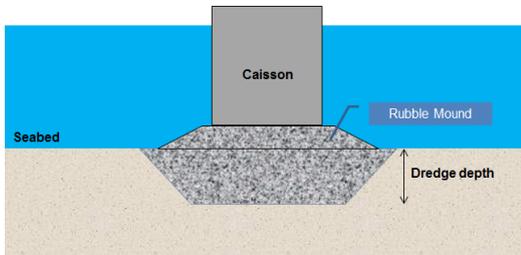


Fig. 6. Installation of caisson(example)

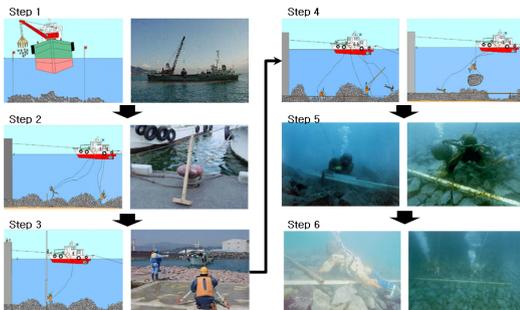


Fig. 7. Construction step of rubble mound leveling (diver method)

사석 마운드를 시공하기 위해서는 Fig. 7과 같은 시공 단계가 필요하다. 사석 투하 시 최종적인 고르기면을 고

려하여 1, 2차로 투하를 한다. 1차 투하시에는 Fig. 7의 step 1과 같이 육상용 백호를 활용하여 투하하며, 2차 투하는 최종고르기면의 0.5~1.0m 정도부터는 크레인을 이용하여 수행한다. 바지선에서 굴삭기가 기초사석(약 30cm×30cm×30cm 크기)을 밀어 떨어뜨리는 방식을 사용하며, 이때 잠수부는 투입되지 않는다. 사석 투하 시에 바지선에 있는 육상 크레인으로 대형 바이브레이터를 권양하여 다짐 작업을 수행한다.

다짐 작업을 수행한 이후에는 Fig. 7(step 2, 3)과 같이 측량을 통하여 기준 위치를 표시한다. 30m 이상 되는 폭방향에는 등 간격으로 3개의 기준점을 설치하여 기준 위치를 표시해 두고 길이방향으로는 20m 간격으로 기준점을 설치하여 기준위치를 표시해 둔다. 측정 후 기준점 기준으로 잠수부는 다시 2m 간격으로 말목을 추가 설치한다. 비개 파이프를 설치하여 고르기 작업 시 기준틀로 사용한다. Fig. 7의 Step 4에서는 기준틀을 근거로 잠수부가 판단하여 받을 울석의 양과 위치를 결정한다. 사석 투하 공정에서 Fig 8과 같이 기준면 300~500mm 모자라게 투하 했으므로 모자란 높이를 울석으로 채운다. 이때 사석 기초면의 기복이 최소로 되고 직립부 바닥이 균등하게 거치되도록 수평을 유지하여 부등침하가 발생하지 않도록 하여야 한다. Fig. 7의 Step 5는 비개 파이프를 밀고 다니면서 잠수부가 고르기 작업을 하는 것이며, Fig. 7의 Step 6는 고르기 작업 이후에 뱀퍼나 수심측량, 다이버에 의해 고르기면을 확인 후에 수중기초 고르기 작업 공정을 마무리 한다. 수중 기초 사석 고르기 작업에는 Fig. 8과같이 잠수부 6~8명, 산소호수 및 케이블 관리인원 2명, 중장비 운전자 등이 최소로 투입되어야 한다.

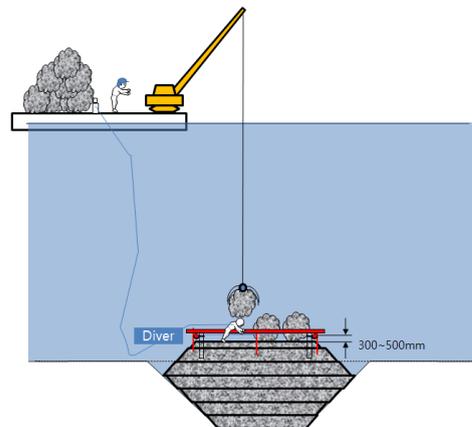


Fig. 8. Rubble mound leveling concept figure

이와 같은 잠수부를 활용한 재래식 시공방법으로서 선박이 많이 오가는 항내에서 작업을 해야 하는 등 위험의 인지나 회피의 곤란성 때문에 안전성 면에서도 많은 문제가 야기 되고 있다. 잠수병 때문에 작업시간이 극히 제한되고, 대수심 조건이거나 기타 작업여건이 열악할 경우 생산성 및 시공의 정밀도가 떨어진다. 그리고 수심 20m에서 8시간 근무시간 중 2시간만이 작업을 할 수 없어 수중 작업 효율성이 상당히 떨어지고 있다. 또한 시공 과정에서 허리부상 및 손가락 절단 등의 각종 재해가 발생한 사례가 다수 있다. 그리고 품질관리 측면에서 관리 감독자가 작업과정을 직접 확인하지 못하고 작업자인 잠수부의 확인에 의존하여 완료된 공사 중 일부만 촬영하여 품질 관리가 어려운 단점을 가지고 있어 이에 대한 효과적인 대응이 필요하다.

3. 수중고르기장비의 성능 및 기능

수중 고르기 장비는 Fig. 5의 수중 고르기 및 굴삭용 무인기계 뿐만 아니라 Fig. 9와 같은 무인기계화 시공을 위한 원격제어용 운영시스템, Fig. 10의 수중 물체 인식 및 수중위치 분석을 위한 수중 환경 모니터링 시스템을 갖추고 있다.

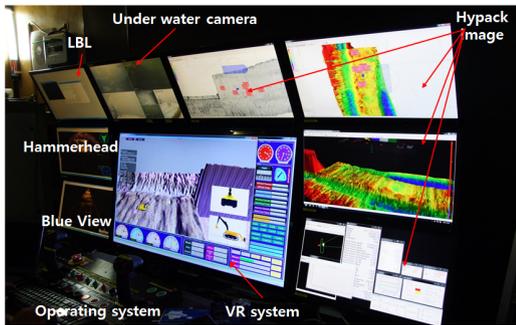


Fig. 9. The operation system for remote control

Fig. 9는 원격제어를 위한 운영시스템으로서 전면에는 VR 시스템, Hypack 영상, 수중 카메라, LBL, 수중 소나 영상들을 보면서 원격제어를 할 수 있도록 구성되어 있어 장비를 효과적으로 운영할 수 있도록 개발 하였다.

Fig. 10은 수중환경 모니터링 시스템에 대한 것으로 원격제어운영시스템에서 실시간으로 볼 수 있도록 되어 있으며, 이를 통하여 장비의 움직임 및 마운드의 상태를

확인할 수 있다.

Fig 11의 수중고르기장비(UX-100)는 Table 1에 나타낸바와 같이 육상에서 중량이 21tonf, 전장은 9.35m, 폭은 3m, 다목적 암을 제외한 높이는 2.674m로 구성되어 있다.

또한 본 장비에는 Table 2와 같은 구성품들이 설치되어 있다. 주요 구성품들로는 자세센서, 수중위치추적장치, 블레이드, 라인 스케닝 소나 등이 설치되어 있어 원격제어운영시스템에 정보를 제공하며, 블레이드, 작업용 버킷, 다목적암 등이 설치되어 있다. 착저형 수중이동 성능은 최대 속도 33.7m/min, 수중장비 위치인식 0.5m 이내, 장애물 인식 범위 20m, 고르기 정도 확인은 30cm 이내 등의 성능을 가지고 있어 수중 고르기 건설공정에 적절한 장비라고 할 수 있다.

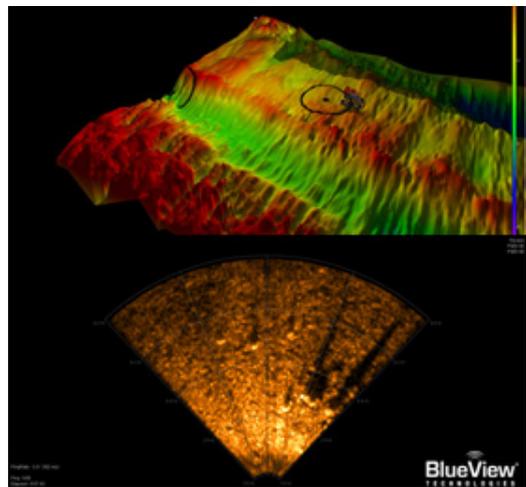


Fig. 10. The underwater environment monitoring system



Fig. 11. Composition of underwater equipment for rubble mound leveling(UX-100)

Table 1. Specification of equipment

Article	Spec.
Weight(overland/underwater)	21/15ton
Length	9350mm
Width	3000mm
Height	2674mm

Table 2. Equipment components

No.	Contents
1	positioning sensor module
2	underwater positioning device
3	Slip ring
4	electric motor water tight module
5	underwater camera/light
6	line scanning sonar
7	blade
8	tow chain system
9	multipurpose arm
10	multipurpose boom
11	hydraulic servo cylinders
12	underwater camera/light
13	bucket
14	operation platform
15	Altimeter system
16	submersible drive system
17	composite cable

4. 수중고르기장비의 적용 건설공정 분석

수중 고르기 장비를 운용하기 위해서는 Fig. 12와 같이 운영실, 크레인, 파워공급장치 등을 싣은 바지선이 필요하며 바지선에서 통신 및 유압 케이블로 장비에 연결되고 장비는 이를 통하여 운영실의 제어를 받아 수중 고르기 공정을 수행한다.

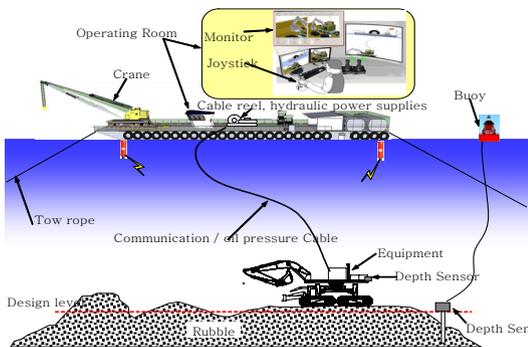


Fig. 12. Concept image of rubble mound leveling using equipment

수중 고르기 장비를 사석고르기 현장에 투입하는 시기는 Fig. 7의 Step 1, 2의 사석 투하 이후 Step 3의 측량을 통하여 특정위치에 기준점을 설치한 이후이다. 이 때 잠수사 투입공법과는 다른 공정이 필요하다. Table 3은 수중고르기장비의 공정순서를 나타낸 것이다. 먼저 고르기 작업전에 사석이 투하된 영역을 스캔하여 사전 정보를 확보하며, 두 번째로 설계 기준면을 측량하여 결정하고, 작업펜스(작업 대상 영역) 및 LBL 센서를 잠수사를 통하여 설치한다. 세 번째로 개발된 크레인을 사석면에 착저 시킨다. 네 번째 공정으로 사석면을 주회하면서 다목적 암 및 블레이드 등을 활용하여 고르기 작업을 수행한다. 이때의 목표 공정은 80%를 목표로 하며 본 공정 중에 수중 환경 모니터링 시스템을 이용하여 위치측정, 사석 형상 인식, 작업면 형상분석 등을 수행한다. 마지막으로 고르기 작업이 완료되면 장비를 인양한 후에 잠수사를 활용하여 최종 마무리 및 결과를 확인한다.

Table 3. Construction process of the rubble mound leveling equipment

Step	construction process
1	• Canning of riprap dropped area before rubble leveling
2	• Decision of design level by survey, installation of work fence(work area) and LBL sensor by divers
3	• Launching of equipment on rubble mound
4-1	• Perform of rubble leveling on mound(application of multipurpose arm and Blade) - target : 80% of entire construction area
4-2	• underwater environment monitoring and operating system - localization of equipment : LBL method - shape recognition of underwater rubble : multi beam image sensor(Blueview and Hammerhead+underwater camera - shape recognition of underwater rubble surface : multi beam sensor+Depth Sensor - operation rule of equipment : application of work monitoring using kinematics
5	• Process finish and result authentication : divers

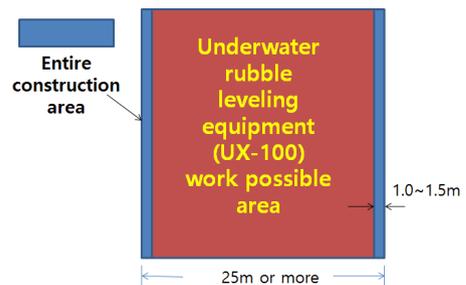


Fig. 13. Possible work area in mound

Fig. 13은 사석 마운드에서의 수중고르기장비의 작업 가능영역을 나타낸 것으로 장비의 안전을 위하여 양쪽 1.0~1.5m를 제외하고 전체 면적에서 작업을 할 수 있으며, 총면적대비 최대 92% 이상 작업가능영역을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.

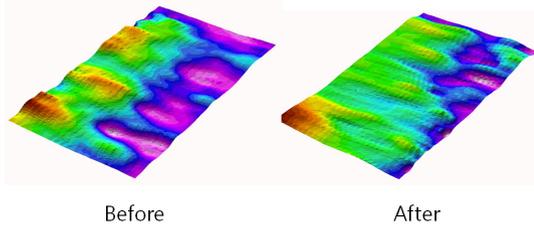


Fig. 14. Work area using equipment

Fig. 14는 현장에서 수중고르기장비를 이용하여 사석 면을 고르게 하였을 경우 분석 상태를 나타낸 것으로 장비를 이용하여 고르기를 수행한 결과 고르기 작업이 효과적으로 진행된 것을 볼 수 있다. 무인 장비는 안전하고 다이버 투입시보다 더욱 효과적인 결과를 나타냈다.

Table 4. Work efficiency analysis

Construction information	Standard	Value amount	
		Diver process	Equipment process
1. Equipment		6,900,000	1,983,333
1) Setting barge	1500P, L(36m) x B(13.7m) x H(3m)	600,000	100,000
2) Flat barge	1700P, L(38.4m) x B(16m) x H(2.7m)	500,000	83,333
3) Tug boat	600HP, L(10.3m) x B(3.5m) x H(1.5m)	1,000,000	166,667
4) Anchor boat	750HP, L(22.5m) x B(4.8m) x H(2.5m)	1,500,000	250,000
5) Crane	maritime/150TON, L(74.9m) x B(32m) x H(5.4m)	3,000,000	500,000
7) Compressor	335HP	300,000	50,000
8) Submarine machine	L(8m) x B(3m) x H(3m) / 15TON	-	833,333
2. Manpower		1,070,671	230,982
1) diver	diver process : 1group x 1day x 4man x157,610won equipment method: 1group x 1day x 1man x157,610won	630,440	157,610
2) diver assistance	1man x 1day x 81,443won	81,443	13,574
3) ship president	1man x 1day x 97,951won	97,951	16,325

4) operator	1man x 1day x 97,951won	97,951	16,325
5) signaler	1man x 1day x 81,443won	81,443	13,574
6) laborer	1man x 1day x 81,443won	81,443	13,574
3. Appurtenant work		509,786	84,964
1) location survey	DGPS	254,893	42,482
2) water level survey	Eco-Sounding	254,893	42,482
4. Incidental expenses		330,089	279,375
1) unexpected process	((2)+(3))x0.073	115,373	14,969
2) hires of machines		107,358	48,870
3) Tamping boat	15ton	107,358	17,893
4) Submarine machine	overland 0.6m ³ equipment x 1.5	-	30,977
3) extra expense		-	83,333
4) consumables (electricity/oil)		-	83,333
Sum		8,703,188	2,335,560

Table 4는 잠수부를 이용한 기존 공법과 수중 고르기 장비를 이용한 작업효율성 분석을 수행하였다. 장비 투입, 인력투입, 부대공, 공과잡비 등을 뺀셈에 맞추어 산출하여 비교 분석하였다. 분석 결과 기존 공법인 잠수부를 투입하여 고르기 작업을 하는 것보다 3.7배 이상의 경제적 효율이 향상하는 것으로 나타났다. 본 장비를 적용할 경우에 잠수부의 투입을 최소한으로 줄이면서 Fig. 13과 같이 수중고르기작업 대상영역의 92%내에서는 경제적 효율성이 증대되며, 투입이 불가능한 8%의 면적을 고려하더라도 기존 잠수부 투입 공법에 비해서 안전하고 경제적으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 수중 사석 고르기 장비의 공정 및 효율성에 대해서 분석을 수행하였다.

- (1) 수중 고르기 장비는 수중 고르기 및 굴삭용 무인 기계 뿐만 아니라 무인기계화 시공을 위한 원격제어 운용 운영시스템, 수중 물체 인식 및 수중위치 분석을 위한 수중 환경 모니터링 시스템을 갖추고 있음.
- (2) 착저형 수중이동 성능은 33.7m/min, 수중장비 위치인식 0.5m, 장애물 인식 범위 20m, 고르기 정도 확인은 30cm 이내 등의 성능을 가지고 있어 수중 고르기 건설공정에 적절한 장비라고 할 수 있음.
- (3) 본 장비는 안전을 위하여 마운드 양쪽 1.0~1.5m

를 제외하고 전체 면적에서 작업을 할 수 있으며, 총면적대비 최대 92%이상 작업가능영역을 확보 가능함.

- (4) 장비 투입, 인력투입, 부대공, 공과잡비 등을 품셈에 맞추어 산출하여 비교 분석한 결과 기존 공법인 잠수부를 투입하여 고르기 작업을 하는 것보다 3.7배 이상의 경제적 효율이 향상됨.

References

- [1] Ministry of ocean and fisheries. Design specification for port and fishing port 2014.
- [2] Ministry of ocean and fisheries, Development of unmanned automated equipment for underwater construction of ports, research report, 557, 2014.
- [3] Lee M K, Park G W, Kim T S, (2009), Development of Robot for the Mechanized Construction of Underwater Harbor, Korea ports and harbours association, korea port journal, pp. 95-108
- [4] Junichi Akizono, Taketsugu Hirabayashi, Takashi Yamamoto, Masaki Iwasaki, Teleoperation of construction machines with haptic information for underwater applications, Automation in construction 15(5) pp. 563-570, 2006 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2005.07.008>
- [5] Kim T S, Kim C H, Lee M K, Study on the design and the control of an underwater construction robot for port construction J. Navig. Port Re, 39(3), pp. 253-260, 2015 DOI: <http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2015.39.3.253>

원 덕 희(Deokhee Won)

[정회원]



- 2008년 8월 : 고려대학교 사회환경 시스템공학과 (구조공학석사)
- 2011년 8월 : 고려대학교 건축사회 환경공학과 (구조공학박사)
- 2011년 9월 ~ 2012년 6월 : 고려대학교 연구교수
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임연구원 제직

<관심분야>

강구조 및 합성구조, 해양구조, 구조해석

장 인 성(In-Sung Jang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2002년 12월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 제직

<관심분야>

지반공학, 지반조사, 해양구조물, 수중시공장비

신 창 주(Kil-Dong Hong)

[정회원]



- 2006년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학석.박사)
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임연구원

<관심분야>

수중로봇, 센서융합, 소음진동