

## 해양특화 전력 공급 장치가 적용된 무인수상정 개발 연구

강현<sup>1</sup>, 김미경<sup>1</sup>, 윤현수<sup>2</sup>, 구성민<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양ICT융합연구센터, <sup>2</sup>제이와이시스템

### Research on the development of Unmanned Surface Vehicles with Power Supply Specialized for Maritime Environment

Hyoun Kang<sup>1</sup>, Mee Kyung Kim<sup>1</sup>, Hyun Soo Yoon<sup>2</sup>, Sungmin Koo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Ocean Science & Technology, Maritime ICT R&D Center

<sup>2</sup>JYSystem

**요약** 본 논문에서는 해양특화 전력 공급 장치가 적용된 관측 및 탐지가 가능한 무인수상정(USV : Unmanned Surface Vehicle)을 개발한다. 기존 배터리는 해수 노출시 파손 및 환경오염을 야기하는 반면, 해양특화 전력 공급 장치는 장시간 해수 침수에 안정적인 신개념 전력 공급원이다. 기존의 무인수상정(USV)은 배터리 형태로 구동되는 해양 무인 이동체로써 리튬이온기반 배터리를 주로 사용해 왔으나 열악한 해양 환경, 배터리의 짧은 이용 시간, 침수로 인한 파손, 유해 물질 유출 위험성 등 많은 문제로 인해 안정적인 전력 에너지원의 개발이 시급하게 요구되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 요구되는 전력을 장기간 공급할 수 있는 해양특화 전력공급 장치(리튬이온 배터리 기반 해양특화 전력공급 장치와 해수 배터리 기반 해양특화 전력공급 장치)를 적용한 무인수상정(USV)을 연구하여 개발하였으며, 수조 및 실험역 검증을 통해 이의 효과를 검증하였다. 수조 및 실험역 검증을 통해 본 논문에서 개발된 무인수상정이 해수 환경에서 안정적으로 운용 가능하며, 무인수상정(USV)의 임무 모듈인 소나의 운용이 가능함을 확인하였다.

**Abstract** In this study, an unmanned surface vehicle was developed with a specialized power supply for a maritime environment. Currently, an unmanned surface vehicle typically uses lithium-ion-based batteries. A conventional battery might be damaged or can cause environmental pollution when it is exposed to seawater. Seawater batteries are proposed as a stable power supply. There is an urgent need for the development of a stable power source for marine environments to solve problems including short usage times, damage caused by flooding, and hazardous material spills. Therefore, we developed a seawater battery and a lithium-ion-based maritime power system that can provide more battery capacity for an unmanned surface vehicle. We show the efficiency of the proposed system through a tank test and real sea test. As a result of the evaluation, it was confirmed that the vehicle is stably operated in a seawater environment, and the operation of a sonar mission module, is possible.

**Keywords** : Sea-Water Battery, USV, Marine Power Supply Specialized, UUV, AUV

본 연구는 산업통상부 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.(1kWh급 이상 해수이차전지 단위 모듈 적용 해양기기 제품 개발, PN91000)

\*Corresponding Author : Sungmin Koo(Korea Institute of Ocean Science & Technology)

email: smkoo@kiost.ac.kr

Received August 26, 2022

Revised September 27, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

## 1. 서론

최근 다양한 해양 무인 이동체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해양 무인 이동체는 크게 수면에서 운용되는 무인 수상정(USV: Unmanned Surface Vehicle)과 물속에서 운용되는 수중 무인 이동체(UUV: Unmanned Underwater Vehicle)로 구분된다[1,2]. 수중 무인 이동체는 유선 연결을 통해 수면에서 원격 조종되는 원격 조종 이동체(ROV: Remotely Operated Vehicle), 스러스터(Thruster)를 구동하여 이동하는 자율무인잠수정(AUV: Autonomous Unmanned Vehicle), 부력엔진을 활용하는 무인 글라이더(Unmanned Glider) 등으로 나눌 수 있다. 이 중, 유선으로 전력을 공급받는 ROV를 제외한 모든 무인 이동체는 배터리로 구동된다. 따라서 해양 무인이동체의 안정적 운용을 위해서는 열악한 해양 환경을 고려한 안정적 전력 공급원 개발이 필수적이다.

그러나 육상 환경을 전제로 개발된 기존 배터리의 안정적 수밀·내압을 위해서는 무게·부피 증가가 불가피하며 이는 결국 해양무인이동체의 가용성을 저해한다. 또한, 배터리의 해수 노출로 인한 파손·폭발·환경오염의 위험성이 상시 존재한다.

본 논문에서는 기존의 문제점을 해결하기 위해 해양특화 전력 공급장치가 적용된 무인수상정을 제안한다. 해양특화 전력 공급장치는 해수배터리 기반 전력 공급장치와 리튬배터리 기반 전력 공급장치로 구분된다. 해수배터리 기반 해양특화 전력 공급장치는 해수를 양극으로 활용하는 2차 배터리인 해수배터리 셀을 직충한 배터리 모듈로써, 해수배터리 셀의 동작 원리상 해수에 상시 접촉하며 운용되므로 해수 노출로 인한 기존 배터리 시스템의 문제점이 발생하지 않는다. [3-5] 리튬배터리 기반 해양특화 전력 공급장치는 리튬이온 배터리 셀을 직충한 후 해수 노출이 가능하도록 패키징한 배터리 모듈로써, 기존 리튬배터리와 달리 파손·폭발 위험이 없다. 본 논문에서는 2종의 해양특화 전력 공급 장치를 적용한 무인수상정을 개발하여 실험역 검증을 시행하였으며, 운용 시간, 운항 속도 측정을 통해 해양특화 전력 공급장치가 해양 무인이동체에 유용하게 적용 가능함을 검증하였다[6-8].

## 2. 해양특화 전력 공급 장치

### 2.1 SWB(Sea Water Battery: 해수 배터리) 기반 해양특화 전력공급 장치

해수배터리는 사실상 무한 자원인 해수를 이용하여 전력 에너지를 저장 및 생산하는 친환경 배터리 시스템으로서, 해수에 녹아있는 나트륨 이온과 물의 화학 반응을 통해 전기에너지를 저장하고 사용한다. Fig. 1은 해수배터리 기반 해양특화 전지용 전력관리시스템으로 해수전지의 특성을 고려한 충·방전 제어, 해양 환경에 적합한 안전 보호 패키징 및 모니터링 등의 기능을 수행한다.

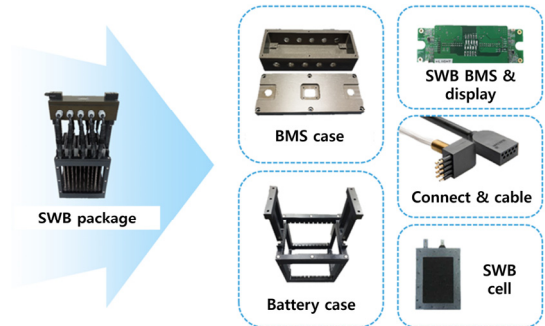


Fig. 1. Management system for SWB

본 논문에서 사용한 해수배터리 기반 해양특화 전력 공급 장치의 제원은 Fig. 2와 같다. 해수전지 배터리의 셀은 8Wh(2.8V, 3Ah), 크기는 160×181×230(mm), 무게는 0.95kg이고, 단위 모듈은 144Wh(12V, 12Ah), 크기는 444×167×205(mm), 무게는 18kg의 정량 스펙을 가진다.

	Cell	8Wh (2.8V, 3Ah)	160*181*30(mm)	0.95Kg
	Module	144Wh (12V, 12Ah)	444*167*205(mm)	18Kg

Fig. 2. Sea water battery module details

### 2.2 LIB(Lithium-ion Battery: 리튬이온 배터리) 기반 해양특화 전력 공급 장치

리튬이온 배터리는 2차 배터리의 일종으로서, 방전 과정에서 리튬 이온이 음극에서 양극으로 이동할 수 있고, 500~2000번까지 반복해서 사용할 수 있으며 동일 용량의 배터리보다 무게와 부피 소형화가 가능하다. 카드뮴, 납, 수은 등 환경 규제 물질을 포함하지 않으며, 충전 가능 용량이 줄어드는 메모리 효과가 없고, 보통 배터리보다 높은 출력 구현이 가능하다는 이점이 있다. Fig. 3은 리튬이온 배터리 기반 해양특화 전지용 전력관리시스템으로 리튬이온전지 특성을 고려한 충·방전 제어, 해양 환경에 적합한 안전 보호 패키지 및 모니터링 등의 기능을 수행한다.

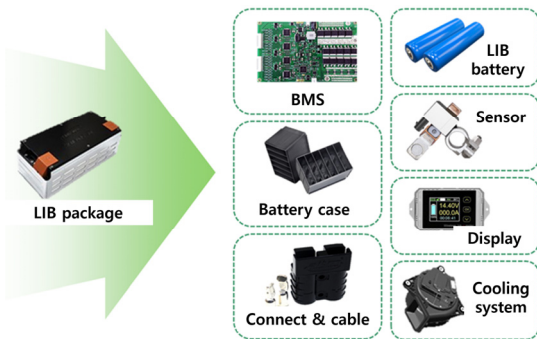


Fig. 3. Management system for LIB

본 논문에서 사용한 리튬 기반 해양특화 전력 공급 장치의 제원은 Fig. 4와 같다. 리튬이온 배터리 셀은 11Wh(3.7V, 3Ah), 크기는 18×70(mm), 무게는 50g이고, 단위 모듈은 480Wh(12V, 40Ah), 크기는 360×120×230(mm), 무게는 13kg의 정량 스택을 가진다.

	Cell	11Wh (3.7V, 3Ah)	φ18*70(mm)	50g
	Module	480Wh (12V, 40Ah)	360*120*230(mm)	13Kg

Fig. 4. Lithium-ion battery module details

### 2.3 해양특화 전력 공급 장치 구성

#### 2.3.1 해양특화 전력 공급 장치 전력관리시스템

해양특화 전력 공급 장치는 리튬이온 배터리와 해수배터리 기반을 동시에 사용하며, 이를 관리하기 위한 전력관리시스템은 Fig. 5와 같다. 배터리 시스템은 전력관리시스템, 해수배터리 및 리튬이온기반 배터리 셀을 포함하는 전력관리시스템으로 해양특화 장치 셀의 충전전압을 공급하고, 과충전 및 과방전 보호회로 적용을 통한 충·방전 시 셀의 안정성을 확보하며, 과전류 제한회로 적용으로 셀의 이상 전류 출력 방지한다. 또한, 외부 단락

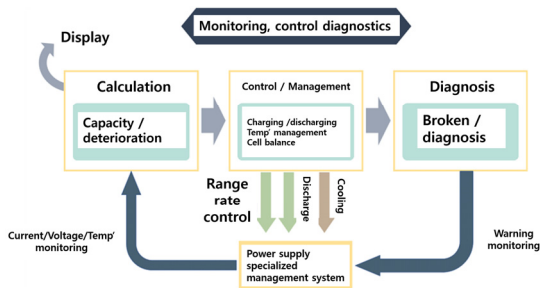


Fig. 5. Power supply management system

검출회로 적용으로 단락 발생 시 해당 셀의 출력을 차단함으로써 셀을 보호하고, 셀 밸런싱 기능을 적용하여 해양특화 전력 공급 장치 시스템의 효율성을 향상 시킨다.

## 3. 무인수상정

### 3.1 무인수상정 제원

무인수상정은 수중에서 탐색 및 감시, 해양 환경 자료 수집 등을 수행하기 위하여 개발된 해양 무인 이동체이다. 본 논문에서 개발하고자 하는 무인수상정은 음속 측정기, 액션캠, 멀티 빔을 이용하여 영상 저장자료, 수심 데이터를 제공하며, 구체적인 사양은 Table 1 실제 형상은 Fig. 6과 같다.

Table 1. USV(Unmanned Surface Vehicle) details

General specification	
Weight	20kg
Speed	Under 10kn
Size	170 X 88 X 38
Shipping Time	5 hours for 4 batteries/ 25,000mah
Survey Accuracy	RTK ±2cm
Carry	Portable
The lay of the land	Complex terrain navigable
Mountable Sensor	Single/multi-beam sonar, water quality measurement sensor, etc



Fig. 6. USV(Unmanned Surface Vehicle)

### 3.2 무인수상정 선체 설계 검토

#### 3.2.1 무인수상정 선체 설계

무인수상정 선체 설계 구성은 해양특화 전력 공급장치, 멀티빔, 동력계 등 주요 구성품들의 규격을 고려하여 Fig. 7과 같이 3D 선체 설계를 하였다.

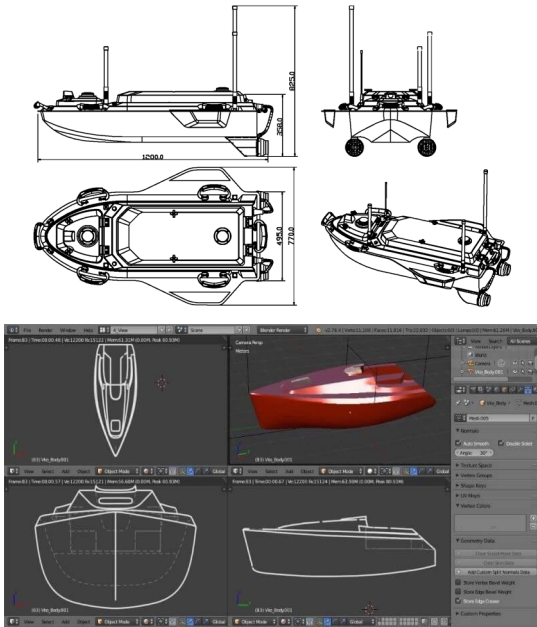


Fig. 7. 3D design drawing of USV

### 3.2.2 무인수상정 선체 제작

무인수상정 선체는 재질은 탄소섬유 강화플라스틱 (Carbon FRP) 소재를 기반으로 한 내구성 높은 초경량 선체로 제작하였다. 탄소섬유 강화플라스틱의 경우 철의 1/4 무게, FRP의 2배 강도, 4배 탄성률, 내마찰성, 내마모성의 특징이 있다. 장착 부품의 규격을 고려하여 Fig. 8과 같이 마스터몰드 금형 제작하였으며, 활용 목적이나 적용 센서에 맞게 커스터마이징 하였다.



Fig. 8. Manufacture of a hull of USV

### 3.2.3 해양특화 전력 공급 장치 거치대 제작

해양 환경 운용 시 고파랑 등 열악한 해양 환경에서 고중량의 해양특화 전력 공급장치를 안정적으로 거치할

수 있는 거치대가 요구된다. 이를 고려하여 높은 강성을 보이는 스테인리스스틸 재질의 거치대를 제작하였다. Fig. 9에 보인 바와 같이, 고중량 해양특화 전력 공급 장치의 교체가 수월하도록 배터리 모듈을 카트리지 형태로 교체할 수 있도록 설계하였으며, 거치대 자체의 제작에 사용되는 스테인리스스틸의 사용을 최소화함으로써 무인수상정 운행 시 전력 소모량을 감소할 수 있도록 하였다.

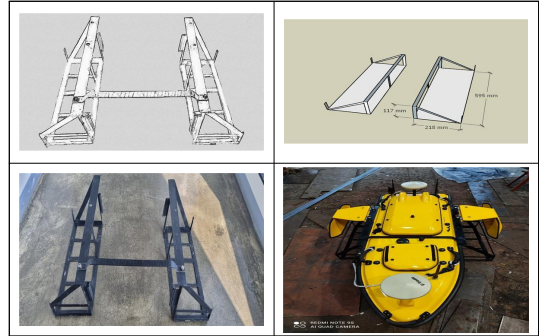


Fig. 9. Manufacture of battery jig for USV

## 4. 테스트 및 결과

### 4.1 수조 테스트 및 실해역 실증 테스트

개발된 해양특화 전력 공급 장치 기반 무인수상정의 정상 동작을 검증하기 위해 Fig. 10과 같이 수조 테스트를 수행하였다. 선체 변속기, 모터, 전류흐름방식, 전지 운용시간 측정 및 자세값(Role, Pitch, Yaw) 비교하며 시스템 안정성 테스트를 같이 수행하였다. 테스트 결과 목표한 자세값(Role, Pitch, Yaw)은 선체의 움직임 없이 멀티 빔의 측정이 가능하였고, 통신장비의 구동 시간은 약 2시간 안정적 전력공급이 가능함을 정량적으로 측정하였다. 특히, 해양특화 전력 공급장치를 도입하여 24V의 전압을 공급할 수 있음을 확인하였으며, 지속 방전전류의 경우 해수배터리 기반 0.8A, 리튬 기반 1.5A로 측정되었다. 이는 무인수상정에 기존 장착되어 있던 배터리의 용량 30Ah 외에 해양특화 전력 공급장치를 통해, 해수배터리 기반의 경우 24Ah의 추가 용량을, 리튬 기반인 경우 80Ah의 추가 용량 확보가 가능함을 의미한다. 이는 무인수상정의 운용 시간을 증대시킴으로써 그 활용성 확장에 기여 하게 된다.





Fig. 10. Tank test of USV

장비의 안정성 테스트 이후, 해양 환경에서의 운용 시간, 내파성, 내저온성, 최대임무거리, 최대속도 측정 및 기타 운용상의 특이사항을 확인하기 위해 실험역 실증 테스트를 수행하였다. 실험역 실증 실험은 Fig. 11에 보인 바와 같이 부산광역시 영도구 동삼동 인근 해역에서 수행되었다.

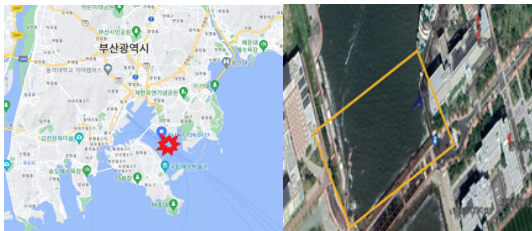


Fig. 11. Experimental location (Yeongdo-gu, Busan)

무인수상정의 이동 경로는 Mission Planner 소프트웨어를 활용하여 Fig. 12와 같이 설정되었으며, 실제 운용 중인 모습은 Fig. 13과 같다.

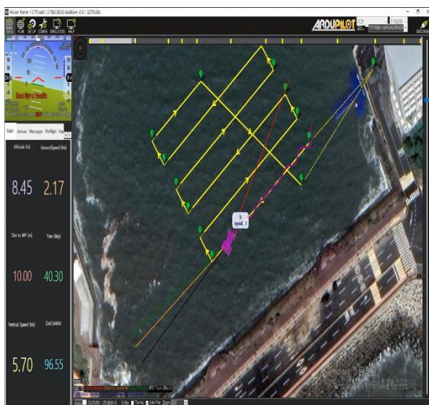


Fig. 12. Moving Path of USV



Fig. 13. Real sea test of USV

수집된 데이터는 Fig. 14와 같이 시각화되며 무인수상정이 이동한 경로에 대해 위치별 수심 확인이 가능하다.

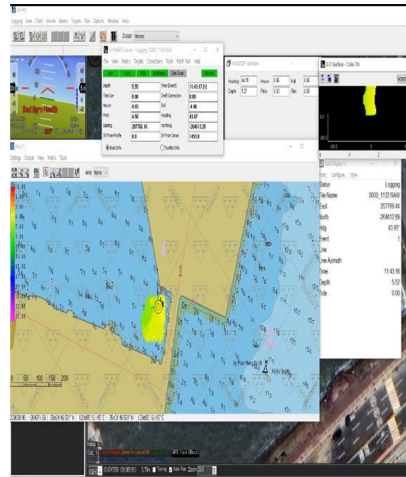


Fig. 14. Acquisition of water depth data using multi-beam

수심 데이터는 캘리브레이션, 조위 보정, 음속 측정, 오크 데이터 보정을 거쳐 Hypack 2018 소프트웨어를 통해 Fig. 15와 같이 3D 자료 및 격자 수심도 등 다양한 자료 결과물을 산출해냄을 확인하였다.

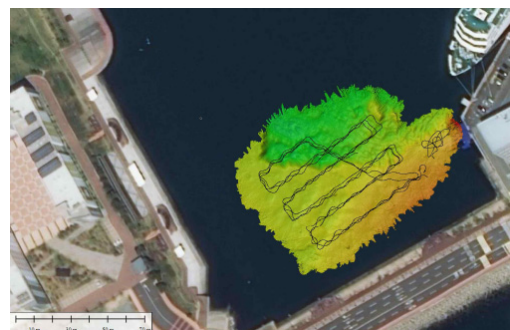


Fig. 15. 3D depth data from USV

## 5. 결론

본 연구에서는 리튬이온기반 해양특화 전력공급장치와 해수 배터리기반 해양특화 전력 공급장치를 동시에 갖춘 하이브리드 전력 시스템으로 구동되는 무인수상정을 개발하였다.

수조 테스트와 실해역 실증 테스트에서 리튬이온기반 배터리와 해수배터리 기반 시스템을 병렬로 연결하여 멀티 빔 및 통신장비의 구동 테스트를 진행하였다. 테스트 결과 선체의 요동 없이 멀티 빔 및 통신장비의 구동이 가능함을 확인하였으며, 해양특화 전력 공급장치를 통해 무인수상정의 운용 시간 증대가 가능함을 확인하였다.

해양특화 전력 공급 장치 도입을 통해 무인수상정 운용시간 증대가 가능하며, 필요시 외부 장착된 해양특화 전력공급장치 교체를 통해 장시간 운용이 가능함을 확인하였다.

## References

- [1] S.-K. Jeong, H.-S. Choi, J.-M., Seo, N. H. Tran, J.-Y. Kim, "Design and control of D.O.F(Degrees of Freedom) hovering AUV", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 19(9). pp. 797-804, Sep. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.5302/I.ICROS.2013.13.9025>
- [2] H.-D. Kim, J.-Y. Kim, S.-H. Kim, S.-K. Lee, "A study of the control system on the manta-type UUV", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 35(5). pp. 359-363, Jun. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5394/KINPR.2011.35.5.359>
- [3] Y. Kim, K.-H. Ha, S. M. Oh, K. T. Lee, "High-capacity anode materials for sodium-Ion batteries", Chemistry A European Journal, Vol. 20(38). pp. 11980-11992, Aug. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/chem.201402511>
- [4] J.-K. Kim, E. Lee, H. Kim, C. Johnson, J. Cho, Y. Kim, "Rechargeable seawater battery and its electrochemical mechanism", ChemElectroChem. Wiley, Vol. 2(3). pp. 328-332, Nov. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/celec.201402344>
- [5] S. Koo, S. Jeong, J. Seo, Y. Song, O. Kwon, Y. C. Kim, S. Baek, "Sea-water Battery for Maritime Applications", Global Oceans 2020: Singapore - U.S. Gulf Coast, pp. 1-4, Oct. 2020.
- [6] H. Kim, J.-S. Park, S. H. Sahgong, S. Park, J.-K. Kim, Y. Kim, "Metal-free hybrid seawater fuel cell with an ether-based electrolyte", Journal of Materials Chemistry A, Vol. 2(46). pp. 10584-19588, Oct. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/C4TA04937C>

- [7] H. S. Bae, W.-J. Kim, W.-S. Kim, S.-M. Choi, and J.-H. Ahn, "Development of the SONAR System for an Unmanned Surface Vehicle", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 18(4). pp. 358-368, Aug. 2015.
- [8] S.-H. Ko, D.-H. Kim, J.-Y. Kim, "Implementation and field test for autonomous navigation of manta UUV". Journal of the Korean Society of Marine Engineering. Vol. 37(6). pp. 644-652, Sep. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.6.644>

강 현(Hyoun Kang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 단국대학교 공과대학 토목환경공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 단국대학교 대학원 지반공학전공 (공학석사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직

<관심분야>

지반공학, 해양지반조사, 해양구조물

김 미 경(Mee Kyung Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 동국대학교 DUICA 정보처리학과 (전문학사)
- 1991년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직

<관심분야>

프로그래밍, 해양자료분석, 자료시각화

윤 현 수(Hyun Soo Yoon)

[정회원]



- 2008년 2월 : 인제대학교 산업공학과 (공학사)
- 2022년 8월 : 숭실대학교 건설시스템공학과 (공학사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : (주)제이와이시스템 대표

<관심분야>

측량, 원격탐사(remote sensing), 지반공학

---

구 성 민(Sungmin Koo)

[정회원]



- 2018년 8월 : 단국대학교 대학원 컴퓨터공학 (공학석사)
- 2022년 8월 : KMOU-OST School 대학원 해양과학기술융합학과 (공학박사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 Post-doc

<관심분야>

운영체제, 스토리지 시스템, 시스템소프트웨어