

자유낙하식 콘관입시험 시스템의 거동특성을 반영한 신호저장용 트리거 개발

강현¹, 신창주^{1*}, 권오순¹, 장인성¹, 백승재¹, 서정민¹, 원성규²
¹한국해양과학기술원, ²Vibroacoustics Total Solution

Development of Trigger for Signal Storage Reflecting the Behavior Characteristics of the Free-Fall Cone Penetration Test System

Hyoun Kang¹, Changjoo Shin^{1*}, OSoon Kwon¹, In Sung Jang¹, Seungjae Baek¹,
Jung-min Seo¹, Sung Gyu Won²
¹Korea Institute of Ocean Science & Technology
²Vibroacoustics Total Solutions

요 약 한국해양과학기술원은 해저 표층지반의 특성을 원활하게 획득할 수 있는 자유낙하식 콘관입시험 시스템 (Free-Fall Cone Penetration system, FFCPT)을 개발하고 있다. FFCPT를 통해 신호를 원활하게 획득하기 위해서는 전체 시험 시간동안 지속적으로 저장하는 방법 또는 사용자가 정의하는 시간 동안만 저장하는 방법이 고려될 수 있다. 효율적으로 데이터를 저장하고 관리하기 위해서는 사용자가 정의하는 시간 동안만 데이터를 저장하는 것이 유리하다. FFCPT는 낙하관성력을 최대한 확보하기 위해 회수용 와이어를 제외한 낙하에 방해되는 구성품이 최대한 배제되어 있다. 따라서 외부 보조장치를 활용한 데이터 저장 및 종료 시점 정의가 어렵다. 이에 FFCPT에 내부에 탑재된 센서를 통해 획득되는 신호를 이용하여 기본 거동을 분석하였고, 그 중 수심센서를 이용한 데이터 저장 시작과 종료를 인식할 수 있는 트리거 방식을 제안하였다. 수심 값의 3초와 0.03초 이동평균 차를 이용하여 낙하 시작 및 종료 시점을 판단하도록 하였다. 개발된 FFCPT를 이용하여 실험역 실험을 수행하였고, 트리거가 정상작동하여 원하는 데이터를 확보할 수 있었다.

Abstract The Korea Institute of Ocean Science & Technology is developing a free-fall cone penetration test system (FFCPT) that can acquire the characteristics of the seabed surface soil. To obtain the data through the FFCPT, a method of storing the signals for the entire time or a method of storing the signal for user-defined time can be considered. For efficient data storage and management, it is advantageous that data be stored by user definition. Therefore, this study analyzed the basic behavior using the signal acquired through a sensor mounted in the FFCPT and developed a trigger method to recognize the start and end of data storage using a depth sensor. The start and endpoints of the fall were determined using the moving average difference of 3 and 0.03 seconds of the depth signal. A real sea-trial test was performed using the FFCPT, and the developed trigger was operated normally.

Keywords : FFCPT, Trigger, Data Storing, Moving Average, Depth Difference

본 논문은 한국해양과학기술원의 주요연구사업의 연구지원(PE99832)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Changjoo Shin(Korea Institute of Ocean Science & Technology)
email: cshin@kiost.ac.kr

Received July 30, 2020

Revised September 9, 2020

Accepted October 5, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

한국해양과학기술원은 Fig. 1과 같이 해저 표층지반의 특성을 원활하게 하게 획득할 수 있는 자유낙하시 콘관입시험 시스템(FFCPT, Free-fall cone penetration test system)을 개발하는 중이다. 이는 육상 CPT 장치를 응용하여 수중에서 편리하게 사용할 수 있도록 개발된 시험 시스템이다.



Fig. 1. FFCPT

일반적인 육상 CPT 방법은 20mm/s의 일정한 속도로 콘프루브 센서를 지반 속으로 연속 관입하며 콘선단 저항치, 주면마찰저항력, 관입 간극수압을 측정하며 단단한 지층을 만나 더 이상 관입이 불가능할 경우 시험을 종료하는 방식으로 수행한다[1]. 이때 신호 측정장비는 육상에 노출되어 있기 때문에 센서로부터 획득되는 신호의 저장 시작과 종료 시점을 사용자가 임의로 결정하여 측정장비에 지령을 내릴 수 있다. 지반특성 분석을 수행할 경우 일반적으로 저장된 데이터에서 다음과 같은 구간을 추출하게 된다. 분석 시작 시점은 콘프루브 센서가 지층의 표층과 접촉하는 순간 또는 외부 요인에 의해 변위가 발생하는 순간부터이며, 이때 콘프루브 센서의 하중값을 0으로 세팅하는 것이 필요하다[2]. 종료 시점은 콘프루브 센서의 변위가 특정 값 이하로 감소할 경우 - 즉 단단한 지층을 만나 더 이상 관입이 불가능한 때를 선정한다. 이처럼 육상 CPT 시험의 경우 저장여부를 사용자 편의에 따라 언제든 결정할 수 있으며, 또한 분석을 위한 데이터 추출의 시작/종료 시점을 명확히 구분하여 사용할 수 있다.

FFCPT는 수중에서 자유낙하시켜 지면과 충돌/관입/정지 단계를 거치는 동안 지면특성을 획득하는 장비로, 상용 CPT 장비와 비교하여 상대적으로 크기 및 부대장치의 규모가 작고, 해저면으로 낙하 후 선상으로 회수하여 현장에서 실측데이터를 바로 확인할 수 있다[3]. FFCPT는 자가 추력동력 없이 자체 낙하 관성력에 의해 지면과 충돌 후 관입되는 장비이다. 이에 낙하관성력을 최대한 확보하기 위하여 회수용 와이어를 제외한 낙하에 방해되는 구성품은 최대한 배제되어 있다[4]. 이로 인하여 엔코더, LVDT(Linear variable differential transformer)

등의 외부 보조장치를 활용하는 것이 어렵다.

FFCPT를 통해 획득되는 신호를 원활하게 확보하기 위해서는 전체 시험 시간동안 지속적으로 신호를 저장하는 방안과 사용자가 정의하는 시간 동안만 저장하는 방안을 고려할 수 있다. 전체 시험 시간동안 지속적으로 신호를 저장할 경우 FFCPT를 구동하기 위한 물리적인 스위치만 장착하고 전원 인가와 동시에 모든 신호를 저장하면 되기 때문에 단순하고 쉽게 구현할 수 있다. 하지만, 이 경우 FFCPT 시험을 위해 준비, 입수, 출수 등의 실제 지반분석 시 요구되는 데이터와는 무관한 신호가 과도하게 저장되어 데이터 관리가 비효율적이게 된다. 사용자가 정의하는 시간 동안만 저장할 경우 FFCPT를 구동하기 위한 물리적인 스위치와 신호 저장 시작/종료 시점을 결정할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 이 경우 사용자가 원하는 구간에서만 데이터를 저장할 수 있어서 데이터 구분이 명확해지고, 용량이 줄어들어 관리가 편리해진다.

Brain은 충돌감지시스템을 개발하여 방탄복 피탄인식, 비행기 연료탱크 모니터링 등에 적용할 수 있도록 전자소자 및 기판을 특허로 제안하였다[5]. FFCPT의 구조적 특성 상 지면 충돌 시 발생된 반력은 구조물 전체에 전달된다. 이에 FFCPT 내부에 장착된 가속도계를 통하여 충돌을 감지하고 저장 시작 시점을 선언하는 것은 가능하나, Brain이 제안한 충돌감지시스템을 적용하는 것만으로 FFCPT의 데이터 저장 종료 시점을 정의하는 것은 어렵다.

James는 스마트 이벤트 감지 시스템을 개발하여 로켓 모터케이스의 상태정보 저장 및 분석을 수행하였다[6]. 해당 연구에는 소형 압전 센서들을 이용한 데이터 저장 및 분석 소프트웨어가 적용되었다. 이 또한 장비의 상태를 획득하기 위하여 데이터 저장 시작 및 종료 시점을 선언하기 위하여 외부 센서의 신호를 트리거로서 이용하였다. FFCPT는 구조적/운용적 특성상 내부에 장착된 센서 출력신호만을 이용하여 저장 시작/종료에 대한 트리거 이벤트를 정의하는 것은 어려운 것이 현실이다. 따라서 FFCPT의 운용특성이 반영된 트리거를 개발하는 것이 요구된다.

본 연구에서는 FFCPT의 거동특성을 반영하여 센서신호를 효율적으로 관리할 수 있도록 데이터 저장 시작 및 종료를 구분할 수 있는 트리거를 개발하였다. 먼저 FFCPT의 일반적인 운용법과 장치에 내장된 센서 신호의 특성을 고찰하여 트리거로 사용가능한 센서신호를 선정하였다. FFCPT에 적합한 트리거를 개발하고, 실험역 성능 실험을 수행하여 정상적인 작동을 검증하였다.

2. FFCPT의 거동분석 및 데이터 저장용 트리거 개발

2.1 일반적인 FFCPT 운용법

해저지반 특성을 확보하기 위하여 선박과 FFCPT를 유기적으로 활용하여 Fig. 2와 같은 운용을 수행할 수 있다[7]. FFCPT를 거치한 선박을 이용하여 조사지점으로 이동한다. 선박이 조사지점에 도착하면 FFCPT를 해저 지면으로 자유낙하시킨다. 이때 FFCPT는 낙하 중 수심, 자세 등의 정보를 획득하기 위하여 자신의 상태 데이터를 저장한다. FFCPT가 지면과 충돌 후 지반관입이 종료할 때까지 지속적인 지반데이터를 저장하여야 한다. 선상에서 관입 종료료를 판단 후 FFCPT를 회수한다. 이후 선박을 다음 목적지로 이동한다. 일련의 과정을 반복함으로써 FFCPT를 이용한 해저지반 특성을 확보할 수 있다.

FFCPT의 운용 특성을 감안할 경우 필수적인 데이터 저장 구간은 자유낙하 시 부터 관입종료 시까지 이다. 서론에서 언급한 것과 같이 자유낙하 중인 FFCPT의 최대 관성력 확보를 위하여 회수용 와이어를 제외한 외부 보조장치를 활용하는 것이 어렵기 때문에 장치 내부에 설치되어 있는 센서를 활용하여 데이터 저장 구간을 인지하는 것이 요구된다.

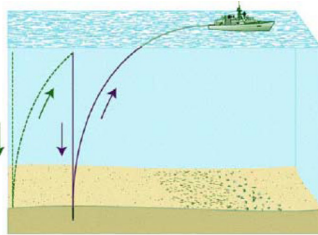


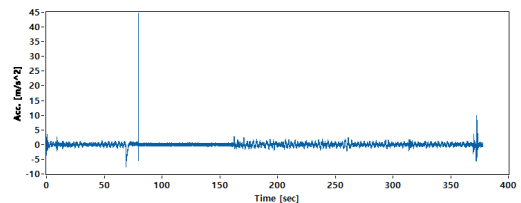
Fig. 2. Concept of inter-operation of FFCPT and ship

2.2 FFCPT의 거동분석

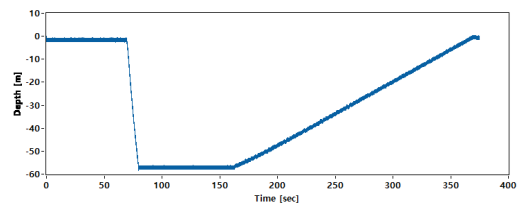
FFCPT에는 6종류의 센서(가속도계, 수심계, 경사계, 선단 저항력 측정 로드셀, 주면 마찰력 측정 로드셀, 간극수압 측정 로드셀)가 장착된다. 이 중 선단 저항력, 주면 마찰력, 간극수압은 해저지반 특성을 확보하기 위한 센서로서 해당 신호는 지면과 상호작용이 발생하여야만 유의미한 값을 출력하기 때문에 자유낙하 시작부터 지면과 충돌하기 직전까지의 시점을 구분하기 위한 용도로 사용하는 것은 부적절하다. 경사계는 지면과의 상호작용과는 무관하게 지속적인 신호획득은 가능하나, 장비의 경사값

만으로 자유낙하, 지면과의 충돌, 관입, 관입종료, 회수 등과 같은 단계를 구분하는 것은 불가능하다. 이제 남은 2종류의 센서는 가속도계와 수심계이다.

Fig. 3은 FFCPT 개발 초기 실험역에서 투입하여 획득되었던 신호이다. 해당 데이터는 수면에서 장비 전원을 인가시키면 DAQ 부팅과 동시에 데이터 저장이 시작되었으며, 장비를 수면으로 올려 전원을 내려야만 데이터 저장이 종료되는 방식이었다. 따라서 해당 신호는 수면에서 낙하준비, 자유낙하, 충돌, 관입, 관입종료, 회수 단계를 거치는 동안 전체 과정에서 발생하는 모든 신호가 저장된 결과이다. Fig. 3(a)는 가속도, Fig. 3(b)는 수심이다. 저장 시작과 동시 FFCPT는 수심 1m에 위치하여 자유낙하를 준비하였다. 이때 파랑에 의하여 선박은 히브운동을 하였고, 이는 가속도 신호를 반영되어 나타났다. 그리고 68.9초에 자유낙하를 시작하였으며 가속도, 수심에서 모두 확인할 수 있다. 수심 58m를 자유낙하 후 79.7초에 지면과 충돌 후 관입종료하였다. 160.7초부터 회수를 시작하였고 371.5초에 선상으로 회수되었다. 79.7초부터 160.7초까지 가속도와 수심 데이터는 안정적으로 획득된 것을 확인할 수 있다. 하지만 160.7초 이후의 데이터를 확인할 경우 가속도는 장비의 회수에 의한 가속도 변화인지, 또는 지반, 해양환경상태 변화와 같은 알 수 없는 외란에 의한 가속도 변화인지 구분이 어렵다. 반면 수심의 경우 수면 대기, 자유낙하 시작, 충돌, 관입종료, 회수 등과 같은 각 단계를 명확히 구분할 수 있다. 이에 수심값을 활용하여 데이터 저장 관련 시작/종료 트리거를 개발하고자 한다.



(a) Acceleration



(b) Water Depth

Fig. 3. Measured total timed signal obtained in one drop test

2.3 FFCPT의 데이터 저장을 위한 트리거 개발

FFCPT를 이용한 해저지반 특성을 확보하기 위해서는 자유낙하 중 장비의 거동 상태, 장비와 해저지반과의 충돌 데이터 및 관입종료 시까지 해저지반과의 상호작용 데이터가 저장되는 것이 필수적이다. 즉, 자유낙하 시작 시부터 관입종료 시까지 FFCPT 내부에 설치된 각 센서들의 데이터 저장이 요구된다. Fig. 4는 Fig. 3(b)의 임의의 구간을 선택하여 수면에서 자유낙하에서부터 관입종료까지 확대한 데이터이다. 데이터 고찰의 편의를 위하여 임의의 선정한 구간의 시작점을 0초부터 시작하도록 하였다. 자유낙하 전 대기상태, 관입종료 후 수심값은 일정한 값을 유지하고 있으며, 자유낙하 시작시점과 지면과 충돌시점에서는 수심의 기울기가 순간적인 변화를 보이고 있다.

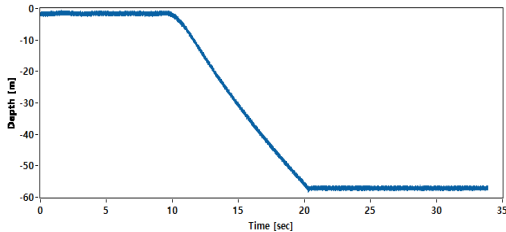
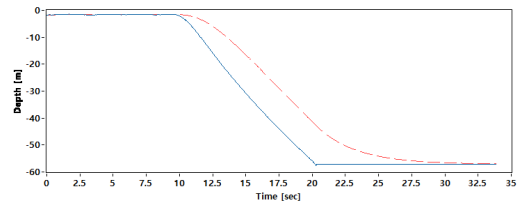
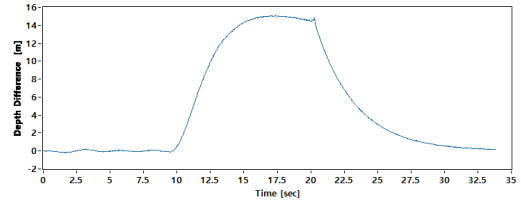


Fig. 4. Depth of selected section

Fig. 5에서는 수심을 이용하여 FFCPT 거동 상태를 예측하였다. Fig. 5(a)는 수심 센서에서 입력되는 노이즈 저감하며 낙하/충돌 시 발생하는 동적상태 및 대기/관입종료 후 발생하는 준정적인 거동상태를 고찰하고자 Fig. 4에서 선택된 수심을 0.03초(실선), 3초(파선) 주기로 이동평균한 값이다. 3초 주기로 이동평균한 값은 0.03초 이동평균값과 비교하여 장비의 거동이 둔감하게 표현되고 있으며, 자유낙하 시작 시점, 관입종료 시점이 상대적으로 느리게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 5(b)는 수심에 대한 3초 이동평균 값과 0.03초 이동평균값의 차이이다. 대기/관입종료 후에는 이동평균값 차가 0에 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 수면에서 관입종료 시 까지 수심 값이 증가할수록 이동평균값 차는 양수임을 확인할 수 있다. 반면 관입종료된 장비를 수면으로 회수하면 이동평균값 차는 음수가 됨을 예측할 수 있다. 따라서 이동평균값의 부호를 통해 장비가 해지면 쪽으로 이동하는지 또는 회수를 위하여 수면 방향으로 이동하는지 판단할 수 있다.



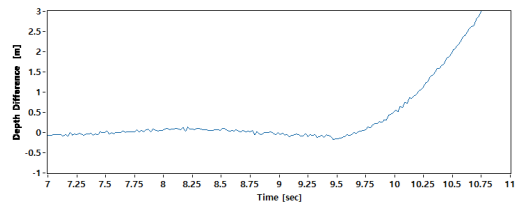
(a) Moving Averaged depths



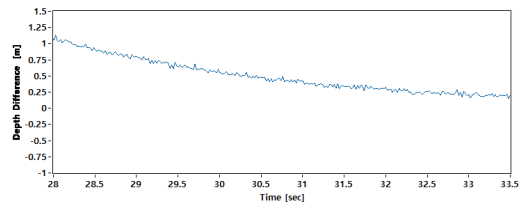
(b) Depth difference

Fig. 5. Estimation of the behavior state of depth

Fig. 6에서는 Fig. 5(b)의 자유낙하 시작 부근과 관입종료 부근의 수심값 차이를 확대하여 나타내었다. Fig. 6(a), (b) 모두 수심값 차이는 0 인근에서 시작하여 최종적으로 0으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6(a)와 같이 자유낙하 시작 시 수심값 차이는 급격하게 커지고 있으며, Fig. 6(b)에 의하며 관입종료가 다가오면 수심값 차이가 작아지며 0으로 수렴해가는 것을 확인할 수 있다. 따라서 자유낙하 시작을 인지할 수 있는, 관입종료가 다가옴을 인지할 수 있는 수심값 차이에 대한 기준값을 설정하면 해당값이 데이터 저장을 위한 트리거 역할을 수행할 수 있게 된다. 해당 실험결과를 바탕으로 기준값은 0.5m로 설정하였다. 트리거 기준값을 설정하더라도, 해



(a) Beginning of free falling



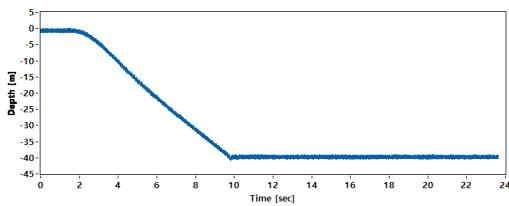
(b) End of penetration

Fig. 6. Zoomed depth difference

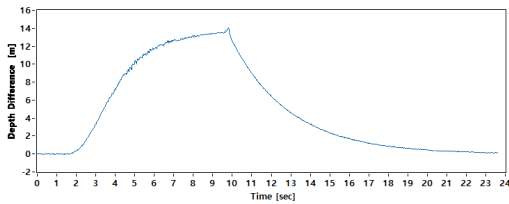
당 값이 정확한 자유낙하 시작 및 관입종료 시점을 나타내는 것은 아니다. 따라서, 트리거 시점을 기준으로 시작/종료 시점보다 임의의 시간으로 2초 간의 데이터를 추가하여 마진을 확보하였다.

3. 실험 및 결과 고찰

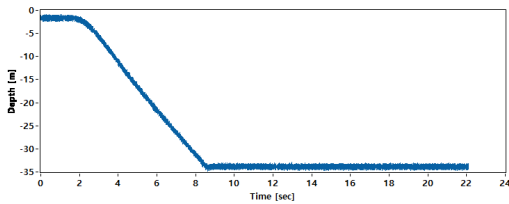
개발된 트리거를 FFCPT에 적용 후 실험실 실험을 수행하였다. 수심 41m, 34m의 두 지점에서 각각 낙하하여 트리거에 의한 데이터 저장여부를 확인하였다. 내장된 모든 센서의 데이터는 트리거 작동에 의해 저장여부가 결정되도록 하였다.



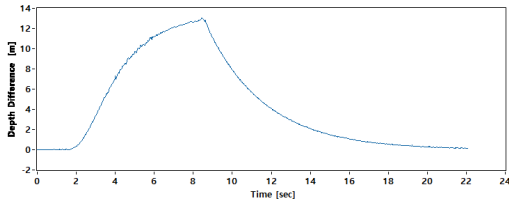
(a) Measured depth at point 1



(b) Depth difference at point 1



(c) Measured depth at point 2



(d) Depth difference at point 2

Fig. 7. Saved data by trigger activating

Fig. 7은 트리거 작동에 의해 저장된 수심 데이터이다. Fig. 7(a)는 수심 41m 지역에서 획득된 수심데이터이며, Fig. 7(b)는 3초, 0.03초 이동평균에 의한 수심 차이이다. 자유낙하 시작을 인지하기 위한 트리거 기준값은 0.5m였으며, 해당 값을 기준으로 2초 선행된 데이터가 동시에 저장된 것을 확인할 수 있다. 관입종료를 알리는 트리거 기준값 또한 0.5m였으며 해당 시점을 기준으로 2초 지난 데이터가 동시에 저장되었다. 제안된 트리거를 통해 총 23.5초간 데이터가 저장되었다. Fig. 7(c)는 수심 34m 지역에서 획득된 수심데이터이며, Fig. 7(d)는 3초, 0.03초 이동평균에 의한 수심 차이이다. 해당 실험 시에도 트리거 기준값은 0.5m로 설정하였다. 자유낙하 시작에 관한 트리거 작동 전 2초간의 선행 데이터가 저장된 것을 확인할 수 있으며, 관입종료 후 데이터 저장 종료된 것을 확인할 수 있다. 해당 위치에서는 총 22.1초간 데이터가 저장되었다. 이를 통하여 FFCPT의 데이터 저장을 위하여 제안한 트리거 기법이 정상 작동되었음을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 해저지반특성 획득용 FFCPT의 효율적인 데이터 저장을 위한 트리거를 개발하였다. 수중에서 운동하는 FFCPT의 거동상태를 인식하기 위하여 수심정보를 활용하였으며, 자유낙하 시작과 관입종료를 인지하기 위하여 수심 변화에 대한 3초, 0.03초 이동평균 차를 이용하였다. 트리거 기준값의 불명확함을 해소하고자 트리거 시점을 기준으로 시작/종료 시점보다 임의의 시간으로 2초간의 데이터를 추가하여 마진을 확보하였다.

개발한 트리거를 FFCPT에 적용하고 실험실 실험을 2회 수행하였으며 정상적으로 트리거가 작동하여 데이터 저장을 원활하게 수행하였다.

References

- [1] Rogers, D. J., Fundamental of Cone Penetrometer Test (CPT) Soundings. Missouri University of Science and Technology, 2011, Available From: <https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge441/CPT-Soundings.pdf> (accessed June, 2020)
- [2] T. Lunne, P.K. Robertson, J.J.M.Powell, Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, E&FN Spon, 1997, pp16-18.

- [3] Jung-min Seo, Changjoo Shin, OSoon Kwon, In Sung Jang, Hyoun Kang, Sung Gyu Won, "Estimation of Penetration Depth Using Acceleration Signal Analysis for Underwater Free Fall Cone Penetration Tester", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 34(2), Articles in press, 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.26748/KSOE.2019.076>
- [4] Changjoo Shin, Sung Gyu Won, OSoon Kwon, In Sung Jang, Jung-min Seo, Hyoun Kang, "Estimation of Ground Penetration Depth for Underwater Free Fall Cone Penetration Tester", Proceeding of Korean Marine Robot Technology Society, Seoul, South Korea, pp.62-64, 2019.
- [5] Brian Keith Russell, Paul Benjamin Mallinson, Stephen Christopher Kent, Christopher Michael Solomon, "Impact Detection System.", U.S. Patent No. US 8,079,247 B2, Dec. 20, 2011.
- [6] James E. Child, Amrita Kumar, Shawn Beard, Peter Qing, Don G. Paslay, "Impact Detection and Analysis/Health Monitoring System for Composites.", Proceedings Volume 6222, Sensors for propulsion Measurement Applications, SPIE, May 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1117/12.669525>
- [7] Craig J. Brown, Stephen Smyth, Arnold Furlong, Glen King, Gerard Costello, Patrick Potter, Jeffrey S Melton, "A Synergistic Approach to improve Multibeam Backscatter Classification Methods for Geological/Habitat Mapping", Hydro 2010 Conference, Rostock, Germany, 2010.

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

신 창 주(Changjoo Shin)

[정회원]



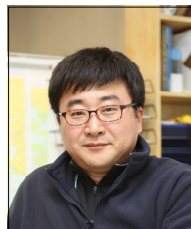
- 2006년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학석·박사)
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직 (현:선임연구원)

<관심분야>

수중로봇, 센서융합, 소음진동

권 오 순(Osoon Kwon)

[정회원]



- 1994년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 4월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직 (현:책임연구원)

<관심분야>

해양지반조사, 해양구조물기초

장 인 성(In Sung Jang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2002년 12월 : 한국해양과학기술원 연수연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직 (현: 책임연구원)

<관심분야>

지반공학, 지반조사, 해양구조물, 수중시공장비

백 승 재(Seungjae Baek)

[정회원]



- 2007년 2월 : 단국대학교 컴퓨터 과학 (이학석사)
- 2010년 2월 : 단국대학교 컴퓨터 공학 (공학박사)
- 2011년 6월 : ㈜프롬나이 (벤처 창업)
- 2013년 9월 : Univ' of Pitt Post-doc.

- 2016년 2월 : 단국대학교 조교수
- 2016년 7월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직 (현: 책임 연구원)

<관심분야>

운영체제, 스토리지 시스템, 시스템소프트웨어

서 정 민(Jung-min Seo)

[정회원]



- 2011년 8월 : 한국해양대학교 공과대학 기계시스템공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 한국해양대학교 공과대학 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직

<관심분야>

2D/3D CAD, 수중운동체 설계/제작(AUV,ROV)

원 성 규(Sung Gyu Won)

[정회원]



- 2005년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2017년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 2016년 5월 : Midas IT 해석개발팀
- 2017년 3월 ~ 2018년 2월 : 한국해양과학기술원 연수연구원

- 2019년 5월 ~ 현재 : Vibroacoustics Total Solution 대표

<관심분야>

수중로봇, 센서융합, 소음진동