

수중초음파와 광학영상의 하이브리드 시스템을 이용한 교각 수중부 원격점검 기법 연구

정주영¹, 윤혁진^{*}, 조현우²

¹한국철도기술연구원, ²과학기술연합대학원대학교 로봇틱스 및 가상공학

Research of Remote Inspection Method for River Bridge using Sonar and visual system

Ju-Yeong Jung¹, Hyuk-Jin Yoon^{*}, Hyun-Woo Cho²

¹Korea Railroad Research Institute

²Division of Robotics and virtual engineering, University of Science & Technology

요약 본 논문은 수중 초음파 시스템을 교각 수중부의 손상 진단 및 점검에 적용하기 위한 기초 연구로써, 수중 초음파와 광학 영상의 하이브리드 시스템을 이용하여 교각의 수중부 점검 실험을 수행하였다. 수중 초음파 시스템을 이용하여 교각 수중부 촬영 시 현장실험에 영향을 미치는 환경변수를 파악하기 위하여 촬영 방향이나 촬영 방법 등을 변화 시키면서 결과영상을 획득 하였다. 교각 주위의 탁도는 10 NTU이었고, 물살과 파고에 의하여 수중 초음파영상에 잡음이 발생하였으나, 이를 최소화 할 수 있는 최적의 촬영 방향과 방법을 제안하였다. 수중 초음파시스템을 이용하여 교각 수중부의 손상 의심부위를 선정하였고, 광학 영상시스템을 이용하여 손상상태를 확인할 수 있었다. 또한 수중 초음파영상과 광학 영상의 정량적인 분석을 위하여 도트게이지를 활용하는 방안을 제안하였다. 본 논문의 결과는 수중 초음파와 광학 영상의 하이브리드 시스템을 이용한 교각 수중부 점검 기법 연구로, 이와 관련된 기술개발을 위하여 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

Abstract This study applied SONAR(Sound Navigation And Ranging) to the inspection and evaluation of underwater structures. An actual river bridge was chosen for inspection and evaluation. SONAR and an optical camera were operated together to analyze the underwater image of the bridge. SONAR images were obtained by various methods to remove the environmental variables from the field experiment, and it was confirmed that the reliability of detecting damaged areas on piers was decreased when using SONAR alone. The SONAR equipment and the optical camera can be used simultaneously to overcome the limitations of SONAR in inspecting underwater structures. These results can be used as basic data for the development of similar technologies for underwater structure inspection.

Keywords : Recognition, River bridge, SONAR, Turbidity, Underwater structure

1. 서론

물류 및 여객 운송에 소요되는 시간을 단축하고 운송 비용을 저감하기 위하여 정부는 도로, 철도 등 육상교통 인프라를 지속적으로 확충하고 있으며, 고속화를 위한 인프라 직선화 사업을 추진하면서 많은 수의 교량, 터널

등의 건설을 수행하고 있다. 최근 잦아지고 있는 전 세계적인 기상이변으로 인하여 태풍, 호우, 지진 등 자연재해가 예측하지 못하는 순간에 빈번하게 발생하고 있어, 붕괴 시 대규모 인명피해를 가져올 수 있는 육상교통 인프라의 상시 안전 확보 기술이 더욱 요구되고 있다. 교량의 효과적인 점검과 진단은 결함, 손상 및 열화를 초래할 수

본 논문은 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyuk-Jin Yoon(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5565 email: scipio@krri.re.kr

Received March 23, 2017

Revised (1st April 20, 2017, 2nd May 11, 2017)

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

있는 요인들을 미리 발견하여 예방적 조치를 취함으로써 손상단계로의 진전을 미연에 방지하고, 이미 결함, 손상 및 열화가 발생한 경우에는 초기에 대책을 강구함으로써 대규모의 보수, 보강에 이르지 않도록 경제적인 유지관리를 행하여 교량의 공용수명을 연장하기 위한 것이다.

특히 육안으로 확인할 수 있는 상하부구조 이외에 교각 수중부 구조의 점검이 중요하나, 현재까지 교각 수중부 구조에 대한 진단은 주로 잠수부의 육안관찰에 의존하였기 때문에 교각 수중부 점검 시 시간이 오래 걸리고 일괄적인 안전진단이 어려우며, 신뢰성이 떨어진다는 단점이 있다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 수중초음파(Sonar)를 이용하여 교각 수중부 구조의 원격 점검을 수행하기 위한 연구들이 진행되어 왔다. Shin 등 [2]은 탁도가 높은 물속에서 획득한 소나영상을 확인하여 장비의 성능을 분석하였으며, 수중공사현장의 경계면을 표시하기 위한 방법을 제안하였다. Lee 등 [3]은 소나를 사용하여 수중 물체를 인식, 추종하는 구조를 제안하였으며, Park [4]은 고해상도 소나를 사용하여 수중 구조물의 손상 패턴을 확인, 평가하는 안전성 검사를 수행하였다. 또한 Park 등 [5]은 기존 수중구조물 점검 및 수중 음파 촬영법의 개선점을 해결하기 위해 듀얼소나 시스템을 사용하여 수중구조물 안전진단 기법을 개발하였으며, Kang [6]은 소나영상과 영상정합, 차 영상처리기법을 이용하여 해저물체를 식별하는 시스템을 제안하였다. 그리고 소나를 이용하여 수변구조물 주변에서 발생하는 세굴을 파악하는 연구도 수행되었다[7, 8].

기존 연구에서 수행된 수중구조물 검사와 기법은 관련 자료의 부족과 용이하지 못한 실험 접근성 등으로 인해 구조물 손상부위의 정량적인 평가에 한계를 가지고 있으며, 손상 확인을 위하여 잠수부가 다시 투입되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 광학영상 시스템과 수중 초음파시스템을 이용하여 교각 수중부 점검 실험을 수행하였다. 또한 소나와 광학 영상시스템의 영상 획득에 영향을 미치는 환경변수들을 확인하여 다양한 방법으로 교각 수중부 촬영을 시도하였으며, 광학영상과 소나 영상을 동시에 취득함으로써 작업자의 손상 판단을 용이하도록 하는 방안을 제시하였다.

2. 교각 수중부 점검 실험

2.1 실험장비 및 실험방법

Figure 1에 초음파 신호변환기와 데이터로거 (StructreScan, Lowrance)를 나타내었다. 사이드스캔과 다운스캔이 가능하며, 조사각은 Fig. 2와 같다.

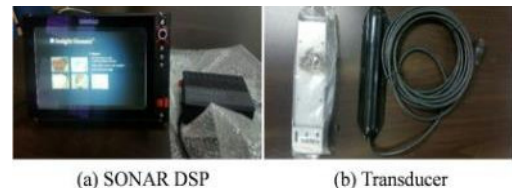


Fig. 1. SONAR DSP and transducer

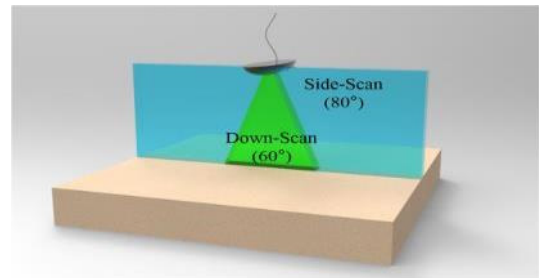
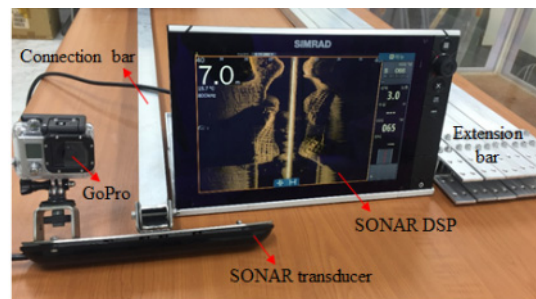


Fig. 2. Cover range of SONAR

또한 소나 영상과 교각 수중부의 실제 영상을 비교하기 위해 광학 영상시스템을 동시에 운용하였으며, 교각 수중부 촬영 시 광학 영상시스템의 촬영 거리를 설정하기 위하여 강물의 탁도를 확인하였다. Fig. 3에 실험에 사용된 수중 초음파와 광학 영상시스템, 그리고 두 장비를 동시에 장착할 수 있는 영상획득 장비를 나타내었다.



Connection bar for GoPro and SONAR system

Fig. 3. Equipment for the river bridge inspection

교각의 수중부 손상점검은 유인보트를 이용하여 영상 획득에 영향을 미치는 환경변수를 확인하였다. 또한 Fig. 4와 같이 교각의 수중부 영상 획득 시, 교각 접선 방향 촬영과 교각 둘레방향 촬영으로 나누어 영상을 획득 하였으며, 교각 수중부의 영상 획득에 있어서 상대적으로 직관적인 결과를 보이는 촬영 방법이 무엇인지 비교하였다.

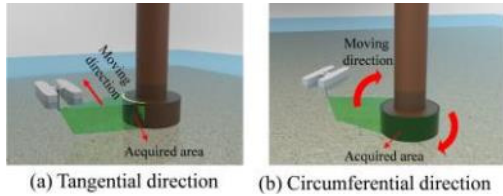


Fig. 4. Filming method

마지막으로, 교각 수중부 영상획득에 영향을 미치는 환경변수를 최소화하여 그에 따른 영상획득결과를 비교하였다.

2.2 교각 수중부 촬영 조건

Fig. 5와 같이 펜더식 교각 보호공이 설치되어 있는 교각과 교각 보호공이 설치되어있는 교각의 수중촬영을 실시하였다. 수중 초음파 시스템은 거리와 타도에 따른 영상획득에 큰 영향을 받지 않는다고 알려져 있지만 논문에서는 타도에 의한 촬영거리에 영향을 받는 광학 영상시스템과 동시에 운용해야 하므로 두 시스템과 목표 교각의 촬영거리 설정이 필요하다. 촬영거리 설정을 위하여 강물의 타도를 측정하였으며, 수중라이트를 사용하여 광학 영상시스템의 최대 식별거리를 개선하였다.

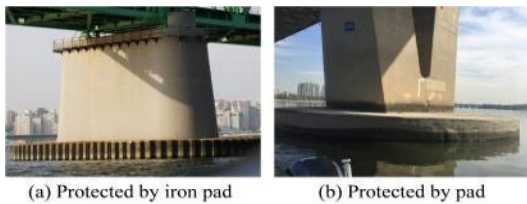


Fig. 5. River bridge for filming

그 결과, 강물의 타도는 10 NTU이었으며, 이 수치는 수중 시야가 0.5 m정도이기 때문에 교각 수중부와 두 시스템의 거리를 0.5 m로 설정하여 실험을 수행하였다[9]. Fig. 6은 10 NTU에서 촬영된 거리에 따른 수중 광학영상이다.

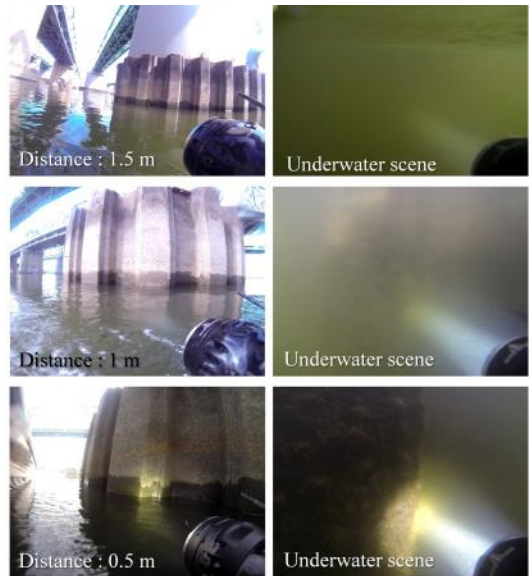


Fig. 6. Underwater river bridge at 10 NTU

3. 교각 수중부 점검 실험결과

3.1 촬영방법에 의한 소나영상

800 kHz와 사이드 스캔으로 설정된 수중 초음파 시스템과 광학 영상시스템을 이용하여 0.5 m 떨어진 거리에서 교각 수중부를 점검한 결과, Fig. 4-(b)의 교각 둘레방향 촬영이 소나영상획득 시 더욱 직관적인 결과를 보이고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 Fig. 7과 같이 수중 초음파시스템의 수중초음파가 영상 처리되는 과정에서 접선방향 촬영 시, 대상물에 의해 반사되어 나오는 초음파의 거리가 둘레방향 촬영과 달리 각각 다르기 때문이다.

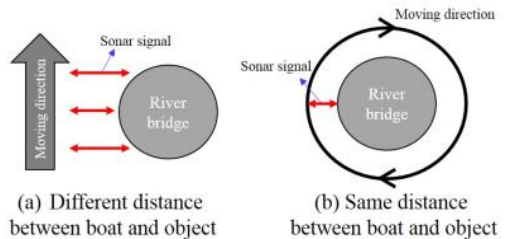
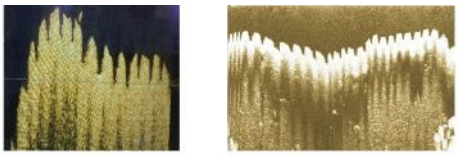


Fig. 7. Difference between two filming methods



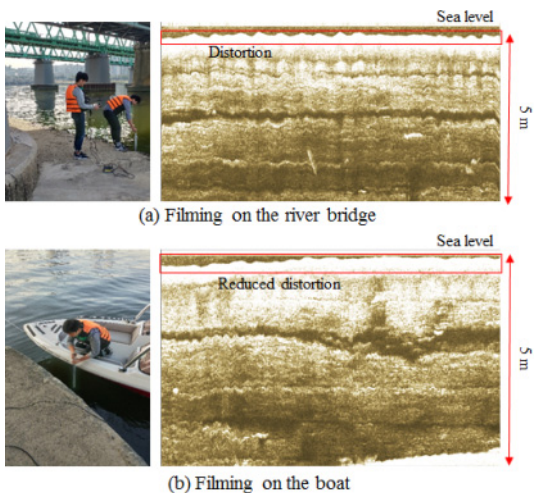
(a) Tangential direction (b) Circumferential direction
Fig. 8. Result of filming method

추가적으로 보트 운전자의 숙련도, 강물의 물살 및 파고가 결과영상에 지배적인 영향을 주는 변수임을 확인하였으며, 이에 따라 소나영상이 왜곡된 결과를 보이고 있다. Fig. 8에 교각의 접선방향과 둘레방향 촬영을 통해 획득한 소나영상을 비교하였다.

3.2 환경변수 제거 후 소나영상

소나 결과영상에 지배적인 영향을 끼치는 환경요인을 제거하기 위해 직접 촬영을 수행하였다. 직접촬영은 Fig. 9-(a)와 같이 보트를 이용하지 않고 교각 위에서 실험자가 직접 영상을 획득하는 방법과, Fig. 9-(b)와 같이 보트의 시동을 끈 상태에서 인력으로 보트를 끌며 촬영하는 방법으로 파고에 의한 영향을 최소화하였다.

이러한 방법으로 교각 수중부를 점검한 결과, 실험자가 교각위에서 촬영한 방법은 실험자의 움직임에 의해 왜곡현상이 발생하였지만 기존 보트의 동력을 이용한 촬영방법보다 결과영상이 확실히 개선됨을 확인할 수 있었다. 또한 소나 결과영상의 왜곡 발생은 보트의 시동을 끈 상태에서 인력으로 보트를 끌며 촬영하는 방법으로 더욱 개선될 수 있음을 확인하였다.



(a) Filming on the river bridge (b) Filming on the boat
Fig. 9. Direct filming method by experimenter

3.3 동시 취득된 소나와 광학영상

광학 영상시스템과 수중 초음파 시스템을 이용하여 소나영상과 광학영상을 동시에 촬영하였다. 교량과 촬영 거리는 0.5 m 이며, Fig. 10과 같이 펜더식 교각 보호공이 설치된 교각 촬영에서 15 cm 간격의 펜더식 교각 보호공을 확인 할 수 있었다. 또한 수중 초음파 시스템을 이용하여 펜더식 교각 보호공의 손상/심부위를 식별할 수 있었으며, 소나영상으로 교각 파손 의심부위를 선정하고, 광학영상을 동시에 취득하여 손상 상태를 확인할 수 있었다.

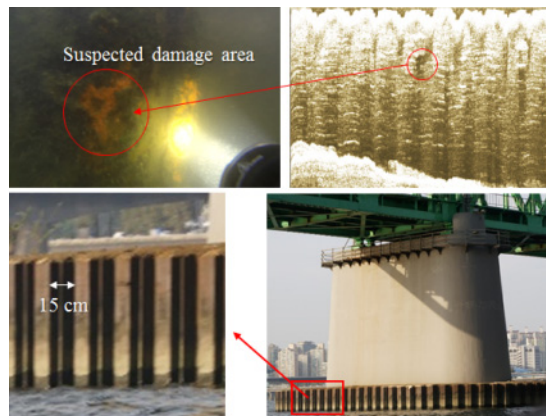


Fig. 10. Analysis of the iron pad river bridge

교각 보호공이 설치된 교각은 Fig. 11과 같이 교각 보호공이 손상되어있었으며, 소나를 이용하여 이를 확인할 수 있었다. 그 결과, 소나영상의 교각 보호공 손상부위가 왜곡이 발생한 영상 상단과 연관성이 없는 패턴을 보이고 있으며, 펜더식 교각 보호공의 소나영상에 비해 파손부위 선정이 유리한 편이었다. 펜더식 교각 보호공에 비해 교각 보호공으로 보호된 교각의 파손부위 선정이 유리한 이유는 다음과 같다. 펜더식 교각 보호공은 부식에 의한 손상부위에서 수중초음파의 난반사가 발생되어 소나영상으로 표현되지만, 교각 보호공에서는 손상부위가 교각과 부착되어 있지 못하고 들떠있기 때문에 소나영상의 음영으로 표현되어 손상부위 선정에서 유리하다. 또한 수중 초음파와 광학영상 시스템의 동시 운용을 통해서 기존 단독 수중 초음파 시스템만으로는 판별이 불가능 하던 교각 수중부의 손상유형을 확인할 수 있었다.

이처럼 하이브리드 방식의 교각 수중부 검사를 수행한다면 기존 수중구조물 검사의 문제점을 개선할 수 있

으며, 잠수부가 필요하지 않기 때문에 수중구조물 관련 연구의 실험접근성을 향상시킬 수 있다.



Fig. 11. Analysis of the river bridge protected by pad

3.4 손상부위 크기 정량화

앞서 언급한 것과 같이, 소나영상으로 손상 의심부위를 선정하고 광학영상으로 손상 상태를 확인하는 하이브리드 방식의 교각 수중부 점검 기법을 제안하였다. 하지만 광학영상 결과와 소나영상 결과를 비교하여 정량적인 데이터를 확보하기 위해서는 두 영상의 비교를 위한 기준시편이 필요하다. 이러한 기준시편으로 본 논문에서는 Fig. 12와 같이 간단한 도트게이지(Dot gauge)를 활용하였다.

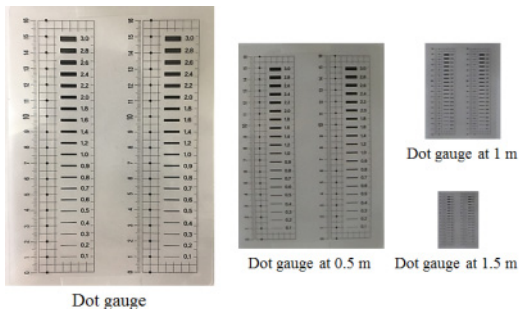


Fig. 12. Dot gauge by each distance

탁도에 영향을 받는 광학 영상시스템을 수중 초음파 시스템과 동시에 운용하기 위해서는 수중구조물과 광학 영상시스템의 탁도에 따른 거리를 설정하여 점검을 수행해야 하며, 이렇게 설정된 거리에서 촬영된 광학영상 이미지는 같은 거리에서 촬영된 도트 게이지를 활용하여 손상부위의 크기 등을 분석할 수 있다. 도트게이지를 이용하여 측정된 광학영상 이미지의 손상부위는 소나 이미지에서 발견된 손상의심부위와 같으므로, Fig. 13과 같이 소나영상의 손상부위 분석으로 활용 가능하다.

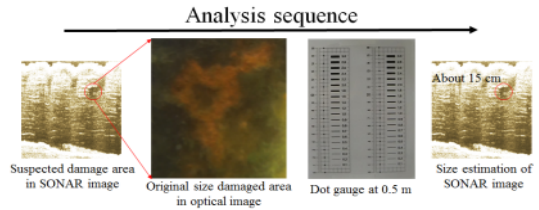


Fig. 13. SONAR and optical image analysis by dot gauge

4. 결론 및 요약

본 논문에서는 수중 초음파시스템을 수중구조물 점검에 적용하기 위한 기초연구로, 수중초음파를 이용한 교각 점검 시 가장 큰 문제가 되는 손상 의심부위 확인을 해결하기 위하여 수중 초음파와 광학 영상시스템을 같이 운용하는 하이브리드 방식을 제안하였다. 또한 교각의 수중부 점검실험을 통해 제시한 하이브리드 방식의 적용 가능성을 확인하였다.

수행된 교각 수중부 점검실험을 통하여 수중 초음파 영상 획득에 지배적인 영향을 주는 요인은 물살과 파고임을 확인 하였으며, 수중 초음파를 이용한 교각의 수중부 영상 획득에 있어서 대상물과 수중 초음파 시스템 간의 거리가 동일한 둘레방향 촬영이 더 효과적인 결과를 보였다. 또한 광학영상이나 수중 초음파 단독으로는 불가능했던 수중구조물의 손상부위 선정 및 손상유형 확인을 두 시스템의 하이브리드 운용을 통해 해결할 수 있었으며, 인력과 환경적인 요인으로 인한 실험접근성을 향상시켰다. 추가적으로 수중 초음파와 광학영상 이미지의 정량적인 분석을 위해 도트게이지를 활용한다면 일관성 있는 수중구조물 점검을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문의 결과는 수중 초음파와 광학 영상의 하이브리드 시스템을 이용한 교각 수중부 점검 기법 연구로, 이와 관련된 기술개발을 위하여 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

References

- [1] S. R. Ahuja, K. D. Hong, K. S. Hong, "The Rapport Multimedia Conferencing System: A Software Overviews," Proc. of 2nd IEEE Conference on Computer Workstations, pp. 52-58, March, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1145/45410.45411>

[1] I. H. Moon, J. J. Lee, C. Park, B. W. Jo, "Development Of Sonar Based Smart Inspection System for Underwater structure", Korean Society of Civil Engineers Annual Conference, pp. 2376-2379, October, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4507>

[2] C. J. Shin, I. S. Jang, K. H. Kim, H. T. Choi, S. H. Lee, "Performance Analysis of Sonar System Applicable to Underwater Construction Sites with High Turbidity", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 9, pp. 4507-4513, September, 2013.

[3] Y. J. Lee, J. H. Lee, H. T. Choi, "A Framework of Recognition and Tracking for Underwater Objects based on Sonar Images : Part 1. Design and Recognition of Artificial Landmark considering Characteristics of Sonar Images", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 51, No. 2, pp. 182-189, February 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2014.51.2.182>

[4] C. Park, "A Study on the Development of Safety Inspection Method in Underwater Structures Using a High Resolution SONAR", HANYANG University, Doctoral dissertation, February, 2015.

[5] C. Park, S. S. Choi, T. S. Park, H. S. Lee, I. K. Yun, Y. S. Kim, "An Image Acquisition Method of Surface Assessment of Underwater Structure and Bed Using Dual SONAR(1MHz)", Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 64, No. 8, pp. 72-76, August, 2016.

[6] H. C. Kang, "Identification of Underwater Objects using Sonar Image", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 53, No. 3, pp. 91-98, March, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2016.53.3.091>

[7] Fernando D.F, Raffaele M, "The monitoring of bridges for scour by sonar and sediment", NDT & E International, Vol. 35, No. 2, pp. 117-123, March, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(01\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(01)00031-7)

[8] Prendergast L.J, Gavin K, "A review of bridge scour monitoring techniques", Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 138-149, April, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.01.007>

[9] I. S. Jang, S. J. Jung, W. D. Baek, H. J. Youn, "Visibility with Different Location and Projection Angle of Light under Turbid Water", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 8, pp. 3758-3765, August, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.8.3758>

윤혁진(Hyuk-Jin Yoon)

[정회원]



- 2002년 2월 : KAIST 항공우주공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : KAIST 항공우주공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : UST 철도시스템공학과 부교수
- 2006년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

건전성 모니터링, 광섬유 센서, UAV

정주영(Ju-Yeong Jung)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한밭대학교 기계설계공학과(공학사)
- 2016년 8월 : 동대학원 기계설계공학과(공학석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 연구원

<관심분야>

전산 유체역학, 전산 열전달

조현우(Hyun-Woo Cho)

[정회원]



- 2010년 8월 : 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 (학사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 (석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 로보틱스 및 가상공학(박사과정)

<관심분야>

영상처리