

인공어초 조사용 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템의 성능 특성

이 대 재*

부경대학교 해양생산시스템관리학부

Performance characteristics of a multi-directional underwater CCTV camera system to use in the artificial reef survey

Dae-Jae LEE*

*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea*

Underwater CCTV camera systems are increasingly replaced the traditional net approach of assessing the species, numbers and aggregation patterns of marine animals distributing around the artificial reefs installed in the inshore fishing grounds, in particular, in relation to the biological investigation of behavior and distribution patterns of target fishes. In relation to these needs, we developed a multi-directional underwater CCTV camera system to use in detecting and tracking marine animals in the artificial reef ground. The marine targets to be investigated were independently tracked by using a camera module toward the bottom and four camera modules installed in the interval of 90° in horizontal plane and inclination of 45° in vertical plane of the CCTV system without the overlap of video frames by each camera module. From the results of several field tests at sea, we believe that the developed multi-directional underwater CCTV camera system will contribute to a better understanding in evaluating the effect of artificial reefs installed in the inshore fishing grounds.

Keywords: Underwater camera, CCTV, Artificial reef, Multi-directional system, Swimming pattern observation

서 론
우리나라의 양식어업은 과거 수십 여년에 걸

쳐 지속되어 온 활어 수요의 비약적인 증가에 힘
입어 질적 및 양적으로 급속한 발전을 이룩하여

*Corresponding author: daejael@pknu.ac.kr, Tel:82-51-629-5889, Fax: 82-51-629-5885

왔다. 그러나, 최근 생활 오수와 공장 폐수의 유입, 제한된 수역에서의 장기간에 걸친 고밀도 양식으로 인해 자가 오염이 초래됨으로서 적조생물이 대량 발생하거나, 양식 시설물로부터 파생되는 각종 쓰레기 등으로 연안 어장의 환경은 해를 거듭할수록 악화되고 있는 실정이다. 현재, 정부당국에서는 이와 같은 양식 산업의 문제를 해결하기 위한 방안의 하나로 외해 가두리 어업의 육성과 연안 해역에 인공 어초 어장을 조성하여 어업 생산성을 지속적으로 유지하기 위해 많은 노력을 경주하고 있는 실정이다. 특히, 우리나라의 각 지방자치단체에서는 관할 연안 해역에 정착성 어족생물 자원의 조성 및 회복, 또한 어업 생산성 증대를 위해 과거부터 인공어초 조성사업을 지속적으로 실시하여 왔다. 또한, 과거부터 조성되어 온 인공어초 어장에 대해서는 사후 관리를 위해 각종 현장조사 및 자원조사 효과를 정량적으로 분석, 평가하고 있다. 특히, 인공어초 어장에서의 어초의 배치와 침하 상태, 해중림의 조성 및 정착성 어족생물의 조성실태 등을 평가하기 위해 현재 sidescan sonar에 의한 음향학적 조사, 잠수부나 수중 CCTV 카메라 시스템에 의한 시각적 및 광학적 조사, 어구에 의한 시험조업 등이 수행되고 있다. 이 중에서 인공어초 구조물 및 부착생물의 정보를 직접 관찰 및 수집하기 위한 방법으로 수중 카메라 시스템이 널리 사용되고 있으나, 이들 카메라 시스템을 수중에 현수시켜 목적하는 정보를 수집하는 데에는 외력, 특히, 조류나 풍압력에 의한 영향을 많이 받는다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 세계 여러 나라에서는 복수의 수중 카메라를 동시에 사용하여 조류나 바람에 의해 수중 카메라가 편위하는 상황하에서도 목적하는 공간에 대한 수중 영상을 효과적으로 취득하기 위한 연구를 활발하게 수행하고 있다 (KU et. al., 2004; DSME, 2010).

본 연구에서는 부산 남구 해역에 부설한 인공어초 해역을 대상으로 단일 수중 CCTV 카메라

시스템을 이용하여 인공어초 주변에 서식하는 어족 생물에 대한 수중관찰을 수행할 때 초래된 많은 운용상의 문제점을 보완하기 위한 목적으로 다방향의 수중 CCTV 카메라 시스템을 설계, 제작하고, 이것을 실험적으로 운용한 결과에 대하여 보고하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에서 개발한 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템의 설계도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 CCTV 카메라 모듈을 장착할 main body를 제작하기 위해 먼저 Fig. 1과 같이 CAD 프로그램을 이용하여 최적의 카메라 배치 도면을 작성하고, 이 도면에 따라 수중 CCTV 카메라 시스템의 본체를 정밀 가공하여 제작하였다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 여러 방향에 분포하는 어족생물의 유영행동을 동시에 관측하여 인공어초 주변에 분포하는 정착성의 어업생물이 어초 구조물에 반응하여 이동하는 패턴이나 군 형성 패턴 등을 평가, 분석할 목적으로 수평방향에 대해서는 90° 간격으로, 또한 수직방향에 대해서는 수면에 대하여 45° 각도로 카메라 모듈을 설치할 수 있도록 하였다. 이 때, 카메라가 지향하는 4방향에 대한 어업생물의 유영행동이 중첩되지 않고 연속적으로 촬영될 수 있도록 하였고, 또한 해저 방향에 분포하는 어족생물의 유영행동과 어초 구조물을 촬영할 수 있도록 또 다른 하나의 카메라 모듈을 저면을 향해 장착하였다. 즉, 총 5개의 카메라 모듈을 장착할 수 있는 다방향 CCTV 카메라 시스템을 개발하였다.

Fig. 1의 카메라 main body에 장착된 5개의 수



Fig. 1. 3D models of autocad drawing for multi-directional underwater CCTV camera system design. (a) rear view, (b) front view and side view, (c) completed view.

중 CCTV 카메라 모듈의 성능특성은 Table 1과 같고, 카메라의 촬상소자 (charge coupled device, CCD)와 LED (light emitting diode)의 배치도면은 Fig. 2와 같다. 또한, 실험장치의 구성 및 성능평가를 위한 현장실험 광경은 Fig. 3과 같다. 실험장치는 Fig. 3에서와 같이 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템, PC based DVR (MIG software, KJ TECH, Korea) 시스템, LCD 모니터 등으로 구성하였고, 이들 시스템은 차량용 battery (120AH) 4개를 병렬 연결하여 얻은 DC 12V 전원을 DC/AC converter를 통해 220VAC로 변환하여 동력원으로 사용하였다. 특히, 본 연구에 사용한 수중용 CCTV 카메라는 Table 1에서와 같이 고정 초점 렌즈를 장착한 카메라로써 제조 maker (HUVIRON, Korea)에 주문, 제작하여 사용하였

다. 이 카메라 모듈의 촬상소자는 NTSC 방식으로서 1/4 inch CCD로서 유효 화소의 수는 25만 화소이고, 12개의 LED lamp가 CCD 주변에 배치된 모듈인데 실내에서 LED 광은 약 10m 거리까지 도달한다.

본 연구에서는 인공어초 주변에 서식하는 어족생물의 유영행동습성을 관찰하기 위한 수심한계를 약 30m로 설정하여 이 수심까지 방수가 유지될 수 있는 CCTV 카메라 모듈을 주문 제작하였고, 조류나 풍랑과 같은 외력에 의한 카메라 시스템의 편위를 고려하여 video cable의 길이는 80m로 하였다. 또한, 여기서는 인공어초가 부설된 천해의 해중에 분포하는 어족생물의 행동습성이 관찰 대상이기 때문에 LED 광원 없이 약 3lux의 조도에서부터 감응할 수 있는 CCD 소자를 선택하여 사용하였다. 이와 같이 설계, 제작된 수중 CCTV 카메라 시스템의 현장실험은

Table 1. Specification of the camera module used in the design of a multi-directional underwater CCTV camera system

Items	Specifications
Type	NTSC
Image sensor	1/4 inch SHARP color CCD
Effective pixel	250,000
Output signal	1.0 Vp - p Negative (75 ohm, BNC)
Light sensitivity	3 Lux without LED
Resolution	Horizontal 330 TV line
Lens	Fixed focus lens
Iris	Automatic iris
SNR	45 dB
Gain control	Automatic gain
LED lamp	12 lamps (DC 12V, 250mA)

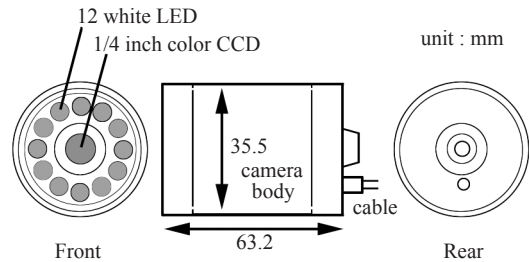


Fig. 2. A layout of LED and CCD arrangement and structure of camera module used in the design of a multi-directional underwater CCTV camera system.

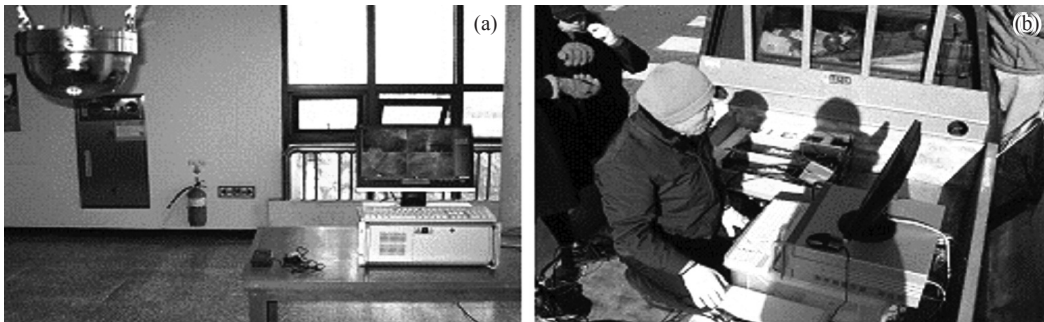


Fig. 3. Photographs for experimental setup (a) and field test (b) of a developed multi-directional underwater CCTV camera system.

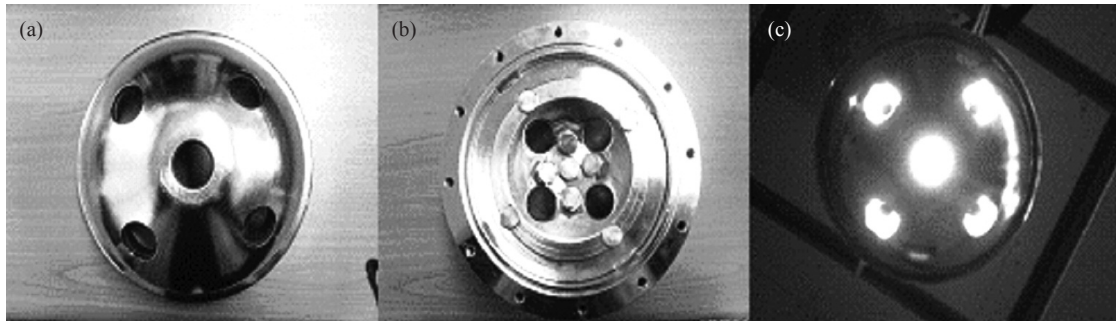


Fig. 4. Photographs of a completed multi-directional underwater CCTV camera system consisting of 5 camera modules. (a) rear view, (b) front view and side view, (c) completed system with 12 LED lamps.

2009년 12월 18일 용호부두 인근에 위치한 동산교 저층 수역을 대상으로 수행하였는데, 현장에서는 Fig. 3에서와 같이 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템으로부터 전송되는 video 영상을 PC based DVR을 이용하여 연속적으로 수록하고, 후일, 실험실에서 재생하면서 목적에 따른 분석을 행하였다.

Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 카메라 모듈은 직경이 35.5mm, 길이가 63.2mm인 원형의 케이싱 내부에 12개의 LED와 함께 수납되어 있는 구조를 하고 있다. 이 카메라 모듈은 Fig. 1의 카메라 main body의 5개 수납공에 장착되어 수밀되었는데, 그 구동 전원은 차량용 DC 12V battery로부터 공급되었다. 한편, 본 연구에서 개발한 수중 CCTV 카메라 시스템에 대한 LED 광원의 투광 상태를 분석하기 위해 digital lux meter (LX-1330, Custom, Japan)를 사용하여 공기중에 대한 조도를 측정하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서 CAD 프로그램에 의해 설계된 도면에 따라 설계, 제작된 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템은 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 CCTV 카메라 시스템에 장착된 5개의 카메라 모듈로부터 LED 광원이 CCD 소자가 지향하고 있는 방향을 향해 동시에 방사되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4에서는 발광 효율이 높고 낮은 전류에서도 고출력의 백색광을 방출하는 LED를 광원으로 사용하였다. 일반적으로 LED는 일반 백열전구에 비해 약 10%의 소비전력으로, 또한, 차량용 DC 12V battery와 같은 저전압의 전원으로 구동이 가능하기 때문에 본 연구에서와 같이 선박에서 battery를 이용하여 모든 측정 시스템을 구동해야 하는 경우에 매우 효과적이다. 특히, Fig. 4의 카메라 모듈은 CCD 소자 및 12개의 LED를 DC12V, 250mA로 구동할 수 있기 때문에 장시간 현장실험을 수행하는 경우에도 많은 battery가 필요하지 않은 장점이 있다. 또한, 인공어초장에서 어군의 행동습성을 관찰할 때에는 수중 카메라 시스템을 수중에 현수시킨 상태에서 어초 구조물 주변에 대한 어군의 행동패턴, 군집패턴, 분포밀도, 주야간의 회유이동패턴 등을 연속적으로, 또한, 광원을 점멸하면서 단속적으로 관찰해야 할 필요가 있다. 이 때, 광원의 반응시간이 느리면 어군의 순간적인 군 형성, 어초 주변의 배회상태, 어종의 식별 등을 효율적으로 평가, 분석할 수 없기 때문에 광원의 신속한 반응성이 요구된다. 이 점에서 LED 광원은 백열광원보다 반응성이 좋고, 반복적인 점멸상황에 대한 수명이 길기 때문에 매우 효과적이라 판단된다.

본 연구에서 개발한 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템에 원주상으로 배치된 5개의 카메라 모듈에서 방사되는 빛의 조도를 대기상태에서

측정한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 조도는 전등 및 자연광의 영향을 받지 않은 장소와 야간의 시간대에 측정되었는데, 실험 당시 배경광의 조도는 0.1lux이었다. 실험은 다방향 수중 카메라 시스템의 저면 (해저면)을 향하는 카메라 (No. 1 카메라)와 원주상으로 90° 간격으로, 또한 수면에 대하여 CCD 촬상축이 45° 방향을 지향하도록 등간격으로 배치된 4개의 카메라 (No. 2 - No. 5)에 대하여 각각 측정하였다. 먼저, 해저면을 향하도록 설치된 No.1 카메라의 경우, 광원의 축상으로 2m, 4m, 6m의 거리에서의 조도는 각각 5.1lux, 1.4lux, 0.6lux이었다. 또한, 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템에

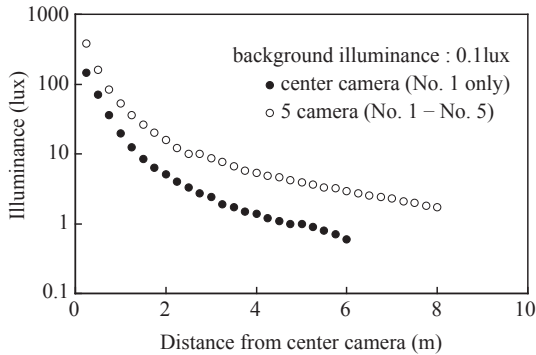


Fig. 5. Variations of illumination as a function of distance from center CCD for 1 camera module toward the bottom and 5 camera modules installed in the underwater CCTV camera system.

설치된 5개의 모든 카메라 모듈을 대상으로 해저면 방향에 대한 조도를 측정한 결과, 측정거리가 2m, 4m, 6m, 8m일 때, 조도는 각각 16.0lux, 5.4lux, 2.9lux, 1.7lux이었다. Fig. 5에서 해저면을 향하는 단일 카메라 (No. 1)의 경우, 광원의 축상에서의 조도는 거리의 약 2승에 반비례하여 감소하는 특성을 나타내었으나, 5개 모듈의 카메라 모듈에 대한 해저면 방향에 대한 조도는 거리의 1.67승에 반비례하여 감소하는 특성을 보였는데, 이것은 CCD 촬상축이 45° 각도로 경사되어 설치되어 있는 관계로 4개의 카메라 모듈의 LED 광원으로부터 방사되는 광이 분산되어 발생한 현상이라 판단된다. 특히, 본 연구에서는 각 카메라 모듈에 의해 촬영되는 영상이 중첩되지 않으면서도 가능한 한 각 카메라가 지향하는 범위를 넓히고자 하였다. 즉, 5개의 각 카메라 모듈의 LED 광원에 의해 형성되는 반구형의 전체적인 광의 조사범위에 shadow zone이 발생하지 않도록 각 카메라의 배치 및 설치위치를 미세하게 조정함으로써 각 카메라로부터 분산되는 광이 인근의 카메라의 광원을 보강하는 역할을 담당하도록 설계, 제작하였다.

Fig. 4의 수중 CCTV 카메라 시스템을 PC based DVR 시스템에 접속하여 실험실에서 성능을 평가한 결과의 일례는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 1번과 3번 camera 방향으로 직선형의 물체가

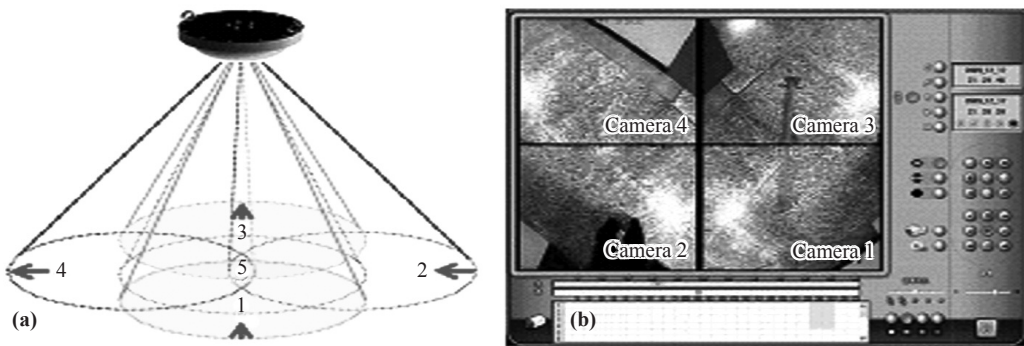


Fig. 6. A layout showing target movement (a) and test images (b) for performance evaluation of a developed multi-directional underwater CCTV camera system in the laboratory.

존재할 때 (수중에서는 이 경로로 어류가 이동할 때), DVR의 1번과 3번 카메라 image에 물표의 영상이 왜곡됨이 없이 실제와 동일한 형태로 관찰되고 있음을 알 수 있는 데, 이와 같이 다방향 카메라 시스템을 사용하면 어류의 이동패턴을 실시간으로 관측할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 이를 위해서는 카메라의 설치위치 및 자세각에 대한 교정이 필요하다. 한편, 본 연구에서 개발한 수중 CCTV 카메라 시스템의 수중에서의 성능을 평가, 분석하기 위해 해중에 CCTV 카메라를 현수시키고 카메라의 조사영역에 대한 video 영상을 고찰한 결과는 Fig. 7과 같다. Fig. 7은 용호만의 썰자리 인근해역과 동산교의 수심 약 8m의 저층 수역을 조사한 결과의 일례로서, 이들 다방향 수중 CCTV 카메라에 의해 관찰된 저질은 사니질과 암석 구조물이었고, 13:00부터 16:00까지 장소를 이동하면서 실험을 수행하였으나 어류의 이동영상은 수록하지 못하였고, Fig. 7의 (a)에서는 카메라 시스템이 해저 부근 약 1m까지 접근하고 있는 관계로 해저 영상이 모든 channel에서 선명하게 수록되고 있으나, Fig. 7의 (b)에서는 해저로부터 약 3m 높이에 위치하고 있는 관계로 카메라 LED 조사영역에 국한되는 영상이 수록되고 있음을 알 수 있다. 이

와 같은 현장 실험으로부터 본 연구에서 개발된 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템의 유효관찰 가능거리는 약 5m에 이르는 것으로 평가된다. 특히, 해수의 유동이 커서 ROV나 단일 CCTV 카메라 시스템을 사용하여 어초 구조물이나 부착생물 등의 정량적인 조사가 어려운 연안의 인공어초 어장이나 외해 가두리 등에서는 3차원적인 어군의 유영행동과 어구의 전개상태 등을 정량적으로 관측할 수 있어 매우 유용할 것으로 판단된다. 현장에서 수록된 많은 영상을 평가, 분석한 결과, 연직 하방 및 복각 30° 방향으로 설치된 4개의 수중 카메라가 지향하는 반구상의 해저영역을 동시에 관측할 수 있어 단일 카메라 시스템에 비해 바람이나 조류와 같은 외력에 의해 카메라 시스템이 편위되는 상황하에서도 매우 안정적으로 해저 구조물이나 어초주변에 대한 어족생물의 유영행동을 분석할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 본 연구에서 설계, 제작한 수중 CCTV 카메라 시스템을 이용하여 수중영상을 연속적으로 모니터링한 결과, 해저 구조물 및 그 부착생물 등에 대한 3차원 관측, 수록 및 재생 등이 가능하여 향후, 가두리 어구 및 어초 주변어장에 대한 어군의 모니터링에도 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

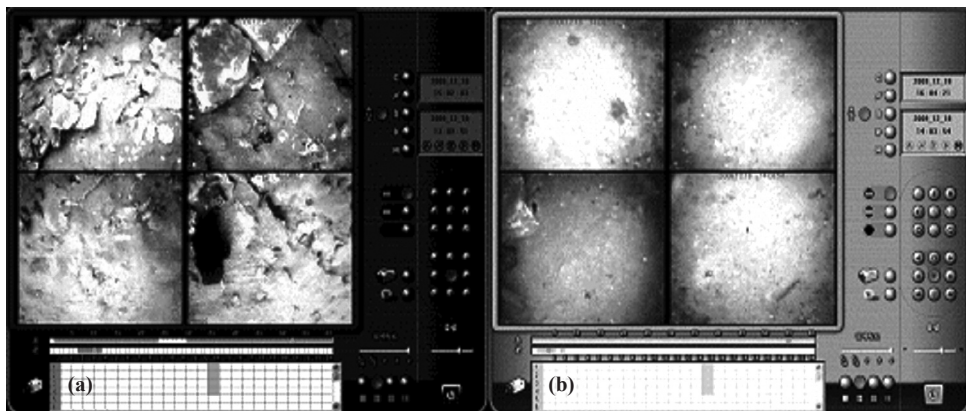


Fig. 7. Recorded images for sea test of a developed multi-directional underwater CCTV camera system. (a) at 1m height, (b) at 3m height from seabed.

본 연구에서 사용한 LED 광원은 소비전력이 3W로서 낮고 소형으로서 백열전구보다 수명이 길어서 어업의 집어등 개발 분야에서도 관심의 대상이 되고 있는데, 최근에는 1개의 소자로 여러 가지 색을 낼 수 있는 구조의 LED 광원도 시판되고 있기 때문에 어류의 주광성을 효과적으로 이용하여 어군을 유집시키기 위한 목적으로 수중 CCTV 카메라에 장착하는 것도 가능할 것으로 판단된다. 그러나, 전계 발광 효과를 이용하는 LED 자체의 수명은 길지만 가격이 비싸고, 사용 목적에 따라서는 열화에 의해 조도가 급속히 저하되기 때문에 LED 교환이 필요한 정도까지 조도가 떨어졌을 때 카메라 모듈의 분해를 통해 보수를 해야 하는 문제가 있다. 또한, LED는 점광원으로서 LED 한 개당 조도의 한계가 있기 때문에 넓은 면적을 목적하는 조도 레벨로서 투광하려면 다수의 소자를 병렬이나 직병렬로 구동해야 하므로 전체적으로 초기비용이 증가하는 문제도 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 LED가 저전압 구동이라는 장점을 이용하여 차량용 battery를 이용하여 구동하였고, 무게가 가볍고 소형이라는 장점을 살려 CCTV 카메라의 CCD 소자 주변에 원형으로 배열함으로써 목적하는 조도를 도출하였지만, 조도가 제한적이어서 향후 보다 높은 조도의 LED 광원을 탑재한 CCD 소자를 이용하여 CCTV 카메라 성능을 향상시키고자 한다.

결 론

본 연구에서는 부산 남구 해역에 부설한 인공 어초 해역을 대상으로 단일 수중 CCTV 카메라 시스템을 이용하여 인공어초 주변의 어족생물을 관찰할 때 야기된 많은 운용상의 문제점을 보완하기 방안을 일환으로 다방향의 수중 CCTV 카메라 시스템을 설계, 제작하고, 이들의 성능을

실험적으로 평가, 분석하였다. 먼저, 다방향 수중 CCTV 카메라 시스템에 설치된 5개의 모든 카메라 모듈을 대상으로 해저면 방향에 대한 조도를 측정된 결과, 측정거리가 2m, 4m, 6m, 8m 일 때, 공기중에서의 조도는 각각 16.0lux, 5.4lux, 2.9lux, 1.7lux이었고, 수중에서의 유효관찰거리의 한계는 약 5m인 것으로 평가되었다. 이와 같은 광원의 방사특성을 갖는 수중 CCTV 카메라 시스템을 해중에 현수시켜 그 성능특성을 평가, 분석한 결과, 연직하방 및 복각 45° 방향으로 설치된 4개의 수중 카메라 시스템에 의한 반구상의 해저영역을 동시에 관측할 수 있어 단일 카메라 시스템에 비해 바람이나 조류와 같은 외력에 대해 매우 안정적으로 활용될 수 있음을 알 수 있었다. 특히, 해수의 유동이 커서 ROV나 단일 CCTV 카메라 시스템에 의한 어초 구조물 및 부착생물 등의 정량적인 조사가 어려운 연안의 인공어초 어장 및 외해 가두리 등에서는 3차원적인 어군의 유영행동과 어구의 전개상태 등을 정량적으로 관측하는데 매우 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- DSME, 2010. Underwater multi-directional video camera system (C-220M) catalog. pp. 1-2.
- HUVIRON, 2009. Product catalogue SK-2120. pp. 1-2.
- KJ TECH, 2004. DVR software manual. pp. 1-25.
- KU, K.K., R.S. Bradbeer, L.F. Yeung and K.Y. Lam, 2004. An underwater camera and instrumentation system for monitoring the undersea environment. 11th IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Machine Vision in Practice, pp. 1-6.

2011년 4월 13일 접수

2011년 5월 7일 1차 수정

2011년 5월 11일 수리