

광센서 배열을 이용한 무인잠수정의 종단유도장치 시스템

Underwater Guidance System for AUV using Optical Sensor Array

손현중¹ · 최형식^{1*} · 강진일² · 서주노³ · 정성훈³ · 김준영⁴

¹한국해양대학교 기계공학과

²한국해양대학교-한국해양과학기술원 해양과학기술전문대학원 해양과학기술융합학과

³한국해양대학교 산업기술연구소

⁴한국해양대학교 해양신소재 융합공학과

Hyeon-joong Son¹ · Hyeung-sik Choi^{1*} · Jin-il Kang² · Joo-no Sur² · Seong-hoon Jeong³ · Joon-young Kim⁴

¹Department of Mechanical Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

²Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Ocean Science and Technology School, Korea Maritime and Ocean University-Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49112, Korea

³Research Institute of Industrial Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

⁴Department of Ocean Advanced Materials Convergence Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

[요 약]

본 논문에서는 수중에서 광과 광센서를 이용하여 AUV의 도킹스테이션에의 도킹에 대한 새로운 연구를 하였다. 이를 위해 LED를 유도광원으로 사용하는 도킹스테이션과 렌즈, 광 변위센서, 신호처리기, 연산처리기로 구성된 센서 시스템을 무인잠수정에 장착한 무인잠수정의 종단유도장치 시스템을 제안하였다. LED 복사광을 이용해 정밀한 상대각도 측정 정밀도를 얻을 수 있도록 집광렌즈 및 광센서 시스템의 원리해석과 이를 검증하기 위해 집광렌즈와 광센서 시스템을 직접 제작하고 기초실험을 수행하였으며 제작한 광학센서를 이용한 AUV와 도킹시스템을 제작하고 수조에서 기본적인 도킹시험을 수행하여 새로운 도킹 방법으로서의 가능성을 검증하였다.

[Abstract]

In this paper, a new study was performed on the docking of AUV to docking station using light and light sensor system under the water. For this, a guiding system for AUV loading sensor system composed of lense, light sensor, signal processor, and processor and docking system with LED are proposed. An analysis on light sensor system and light-collecting lense to obtain accurate relative angle and measurement accuracy was performed. To prove this, the system was built and a basic experiment was performed. Finally, the feasibility of the developed docking system was verified the test in the water tank.

Key word : Light sensor, Docking, Guiding system, AUV.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.2.125>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 8 April 2019; Revised 9 April 2019

Accepted (Publication) 23 April 2019 (30 April 2019)

*Corresponding Author; Hyeung-sik Choi

Tel: +82-51-410-4297

E-mail: hchoi@kmou.ac.kr

I. 서론

해저 자원 개발이나 해양생태계 조사 및 관측, 해저구조물 추적 등의 해양조사를 위한 자율무인잠수정 (AUV; autonomous underwater vehicle) 연구가 활발히 진행 중이다. 해양조사 시 AUV는 데이터의 송수신과 장시간 운용을 위한 전력공급에서 많은 어려움을 겪고 있다. AUV의 운용시간을 늘리기 위해 충전장치를 설치한 해저 구조물이나 다른 무인잠수정과에의 도킹으로 이를 해결하고 있다. 이러한 시스템을 이용하면 AUV를 인양할 필요가 없어 장기적으로 자동 운용이 가능하여 비용과 시간에 있어서 경쟁력을 가질 수 있다.

무인잠수정의 수중 도킹은 충전과 통신을 위하여 무인잠수정을 수면으로 부상시키지 않고 수중에 설치된 스테이션으로 유도하여 결합시키는 것을 말한다. 무인잠수정이 도킹 스테이션까지 안전하고 신속하게 도킹하기 위해서는 무인잠수정이 도킹스테이션에 대한 본선의 방향 각도를 정확하고 빠르게 측정하여 도킹스테이션을 향해 접근하면서 정확히 안착될 수 있도록 자세제어를 하는 것이 요구된다.

현재 세계 많은 무인잠수정 연구기관들이 도킹 시스템에 대한 연구를 수행중이다.

USBL (ultra sonic base line) 시스템을 이용하거나 CCD (charge coupled device) 카메라를 이용하는 등 다양한 형태에 대해서도 연구 중이다[1]-[3].

USBL을 이용한 시스템의 경우 수중에서 신호감쇠가 적어 광역추적이 가능하지만 해수의 온도 변화와 분포에 영향을 받게 되고 수면에서 발생하는 잡음에 민감하며 음파의 반사와 굴절에 의한 다중경로 진행과의 간섭이 존재하므로 도킹을 위한 근거리 정밀 추적에 어려움이 있다.

CCD 카메라를 이용한 시스템의 경우 해양의 특성상 부유물에 의한 영상노이즈와 탁도에 의한 한정된 가시거리 문제를 해결하여야 한다. 이와 같은 환경적 노이즈에 인한 예측 불가능하지 못하는 상황이 많이 연출되고, 이를 정확하게 모델링 하는 것이 어렵기 때문에 여러 환경을 만족시키는 강인한 도킹 시스템이 요구 된다.

본 논문은 이러한 문제점을 해결하고자 수중 전파속도가 음파보다 훨씬 빠른 LED (light emitting diode) 복사광을 이용해 정밀한 상대각도 측정 정밀도를 얻을 수 있고 데이터 갱신속도 또한 1초에 10번 이상 빠른 도킹유도 센서 시스템을 개발, 무인잠수정 도킹에 적용하고자 하는 것이다 [4]-[6].

보다 구체적으로는 LED를 유도광원으로 사용하는 도킹스테이션과 렌즈, 광 변위센서, 신호처리기, 연산처리기로 구성된 센서 시스템을 무인잠수정에 장착한 무인잠수정의 종단유도장치 시스템을 제안하였다. 또한 본 논문에서 제안한 광학센서를 이용한 AUV와 도킹시스템을 제작하고 도킹알고리즘을 개발 하였으며 개발한 시스템을 수조에서 도킹시험을 수행하여 새로운 도킹 방법으로의 가능성을 검증해 보고자 한다.

II. 집광렌즈의 지향성 특징을 이용한 상대각도 측정원리 고안

본 논문에서는 AUV에는 집광렌즈가 설치되고 도킹시스템에는 3개 이상의 LED 광원이 설치된다. 본 논문에서 제안하는 광학식 도킹센서의 핵심원리는 그림 1과 같이 광원이 렌즈의 중심축과 평행하지 않고 어긋날 때, 렌즈에서 맺히는 광점의 위치가 초점거리 중심에서 비례하게 이동한다는 점을 이용한 것이며 구체적인 내용은 다음과 같다.

집광렌즈로 피사체의 광원을 바라보면 집광렌즈의 초점거리 만큼 떨어진 면에 광점 (light spot)이 결상된다. 이 때, 집광렌즈의 중심축이 피사체 광원의 중심을 정확히 향할 때, 집광되는 광점이 정확한 중심축에 결상되고 반대로 집광렌즈의 중심축이 피사체의 광원 중심으로부터 각도가 조금이라도 어긋난다면 결상되는 광점의 위치 또한 변경된다. 이 특징은 렌즈의 초점거리가 길수록, 즉 지향성이 높아질수록 광점의 위치가 변화되는 폭이 커지는 특징이 있다. 이러한 원리를 사용해서, 광점의 위치를 측정하는 광점변위 측정 센서인 photodiode array, CCD, PSD (position sensitive detector) 등을 사용해 집광렌즈의 중심축에 대한 피사체 광원의 상대각도를 측정한다.

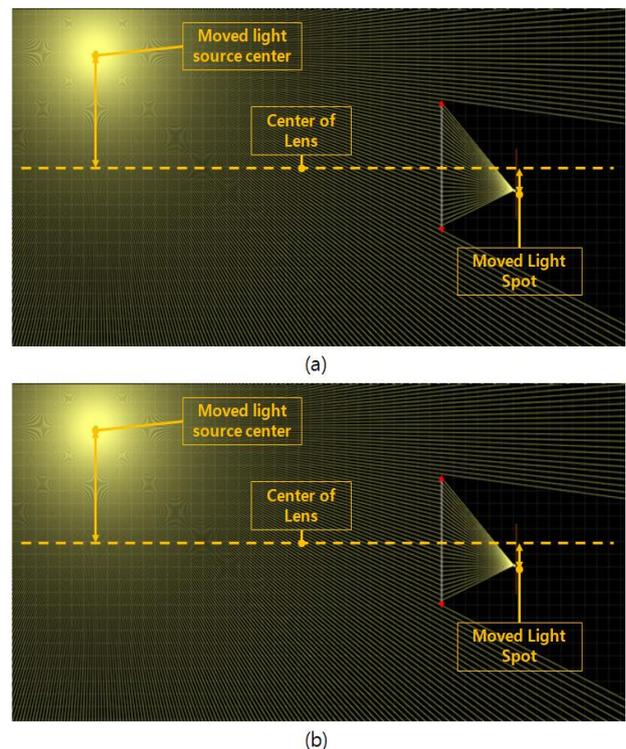


그림 1. 집광렌즈의 지향성을 이용한 상대각도 측정원리
 Fig. 1. The principle of relative angle measurement using directivity of a condensing lens.

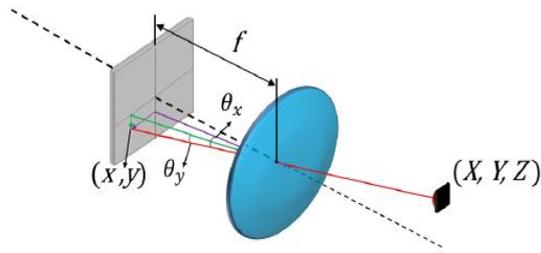


그림 2. 집광렌즈 및 광센서의 좌표계 설정
Fig. 2. Coordinate system setting of the condensing lens and the optical sensor.

이 그림 2에서 피사체 광원의 위치 X-Y-Z, 광점의 위치 x-y, 렌즈의 초점거리 f가 주어졌을 때, 렌즈 중심축에 대한 광원의 상대각도 θ_x 및 θ_y 는 다음 식과 같이 구해진다.

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{x}{f}\right) \quad (1)$$

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{y}{f}\right) \quad (2)$$

또한 렌즈 시스템의 시야각 (field of view) FoV는 다음과 같이 주어진다.

$$FoV = 2 \tan^{-1}\left(\frac{d}{2f}\right) \quad (3)$$

III. 광학식 상대각도 측정센서 시스템 설계

광학식 상대각도 측정센서 시스템은 크게 광원모듈부와 광센서부로 나누어진다. 광원 모듈부는 주로 도킹을 유도하는 역할을 하므로 미리 정의된 변조형태로 LED신호를 연속적으로 출력하며 도킹시스템에 설치가 간편하도록 자체 전원을 가진다. 그림 3과 같이 ① 배터리, ② MCU 및 변조 발진기, ③ LED power driver, ④ LED로 구성된다.

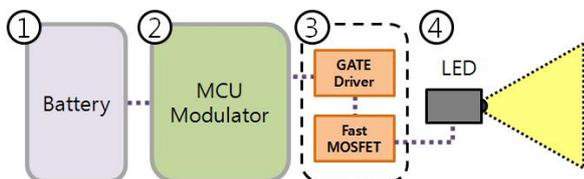


그림 3. 광원 모듈부의 세부구조
Fig. 3. The detailed structure of the light source module part.

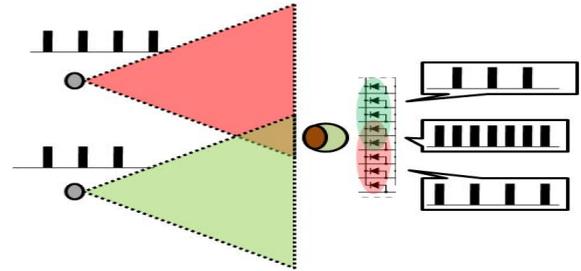


그림 4. 광원의 변조 및 고유 ID의 인식 과정의 예시
Fig. 4. An example of the process of recognition of the modulation and unique ID of the light source.

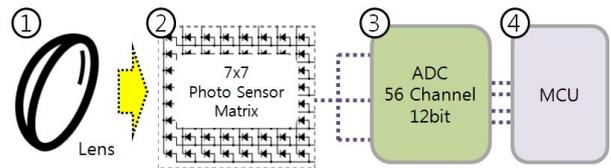


그림 5. 광센서 부의 세부구조
Fig. 5. The detailed structure of the optical sensor part.

여기서 광원모듈의 변조목적은 외란 광에 의한 추정각도 오차 발생을 억제하고 위치와 용도에 따라 배치된 복수의 광원의 고유 ID를 인지하기 위한 방법으로 사전에 정의한 변조방법으로 변조 처리된 광을 출력하는 LED 광원을 사용하고 그림 4와 같이 광센서부에서는 수신된 광신호의 위상과 주파수를 분석하여 광원의 고유 ID를 파악하게 하기 위함이다.

광센서부는 광원의 고유 ID와 광원의 위치를 인식 및 판단하는 역할로 AUV의 한 부분에 부착하여 무인잠수정의 메인 제어 장치에 관련 정보를 전달한다. 그림 5와 같이 ① 렌즈, ② 광점 변위측정센서, ③ ADC, ④ MCU로 구성된다.

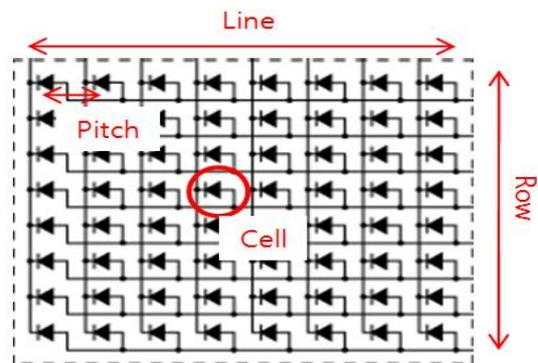


그림 6. 광원의 변조 및 고유 ID의 인식 과정의 예
Fig. 6. An example of the process of recognition of the modulation and unique ID of the light source.

광점변위 측정 센서는 렌즈의 집광점이 결상되는 면에 소형의 광센서를 그림 6과 같이 배열형태로 배치하여 광점의 세기 및 위치를 측정하고 이를 취합하여 렌즈 면에 대한 광원의 상대 각도를 측정할 수 있도록 설계하였다.

본 논문에서는 49 개의 광센서 칩을 사용하여 7 × 7 배열 형태의 광센서 배열을 구성하였고, 이에 따라서 56 채널의 ADC (analog-digital converter)를 사용하였다.

광센서 배열 세부 용어와 성능을 결정짓는 요소를 그림 7과 표 1에 정리하였다.

렌즈의 굴절을 이용해 광원 점의 상대각도를 추정하는 기본 목표 외에 수중에서는 광 감쇠와 산란에 의해 최종적으로 수신기에 도달하는 광신호의 강도가 적기 때문에 외부로부터 입사하는 광을 포토센서로 집광함으로 신호 대 잡음비 (S/N)를 향상시키는 부가 목표가 있다. 렌즈의 성능을 결정하는 중요 요소는 다음과 같다.

표 1. 광학센서 시스템의 성능결정요소

Table 1. Performance determinants of optical sensor systems.

Parameter	Value
X-Y dimensions of array	Field of view (FOV)
Sensor array pitch	Relative angle sensing resolution
Photosensitivity	Maximum recognizable distance
Response time	Modulation frequency range

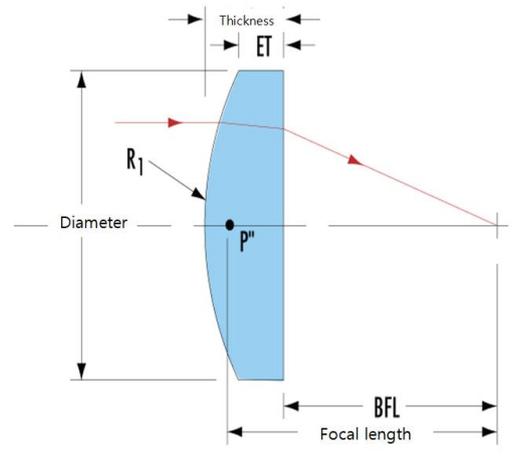


그림 7. 렌즈의 특성
Fig. 7. Characteristics of Lens.

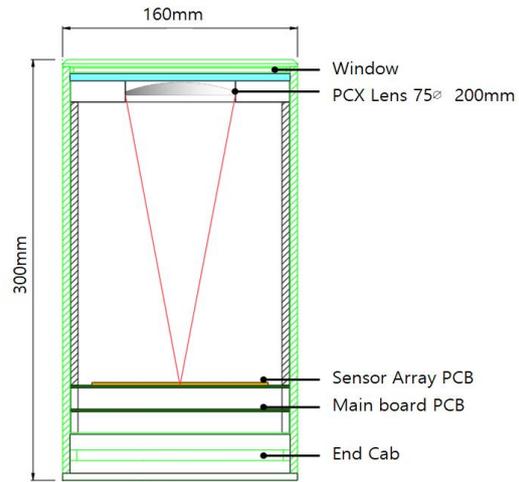


그림 8. 광센서 하우징의 설계
Fig. 8. Design of optical sensor housing.

- (1) 렌즈의 직경 - 렌즈의 직경이 클수록 수광하는 광량이 증가한다.
- (2) 렌즈의 초점거리 - 렌즈의 초점거리가 길수록 광 굴절각이 적어지게 되며 이는 굴절 안정성이 증가시키게 되어 정밀하게 상이 모아진다.

본 설계에서는 센서 모듈의 housing 크기도 함께 고려해야 하므로 렌즈의 직경은 최소 75 mm 이상, 렌즈의 초점거리는 최소 100 mm 이상을 적용하도록 설계하였다. 이에 따라 설계한 센서 하우징의 내부 배치는 그림 8과 같다.

IV. 광학식 상대각도 측정센서 시스템 제작 및 성능시험

본 논문에서 제안한 광학식 상대각도 측정센서 시스템을 제작하였으며 제작한 시제품의 내부모습 및 외형을 다음 그림 9, 10, 11에 나타내었다.



그림 9 제작한 광원모듈부의 외형
Fig. 9. The appearance of the manufactured light source module part.

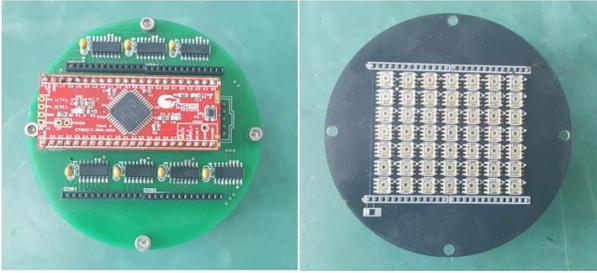


그림 10. 제작한 광센서부의 내부모습
 Fig. 10. Internal view of the manufactured optical sensor part.



그림 11. 제작한 광센서부의 외형
 Fig. 11. The appearance of the manufactured optical sensor part.

4-1 제작한 시제품 센서의 성능시험

제작한 광센서 시스템의 분해능 성능측정을 위해 그림 12와 같이 광센서 모듈, 변조 없이 일정한 조도 값을 유지하며 상시 점등된 LED 광원, 광센서 모듈을 지정된 거리만큼 정확하게 이동시킬 수 있는 리니어 액추에이터로 광센서 시험 장치를 구성하였다. 설치된 광원을 기준으로 거리는 15 m, 좌우방향으로는 550 mm 거리를 이동하면서 광센서 배열의 중심 line에 배치된 광센서들의 출력을 검출할 수 있는 시험장치 및 시험 중인 사진을 각각 그림 13 및 14에 나타내었고 이 시험을 통해 데이터를 추출하고 비교하였다.

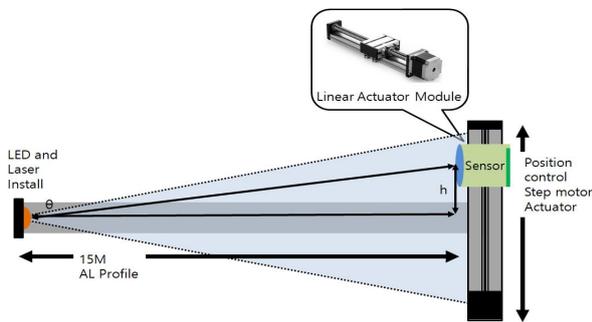


그림 12. 광센서 시험장치의 구조
 Fig. 12. Structure of optical sensor experiment device.

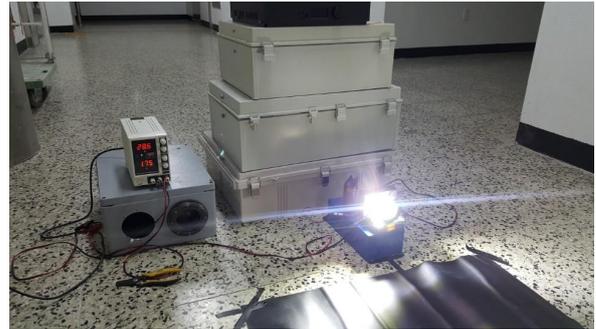
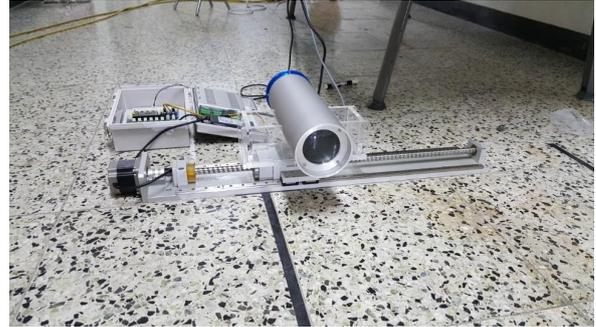
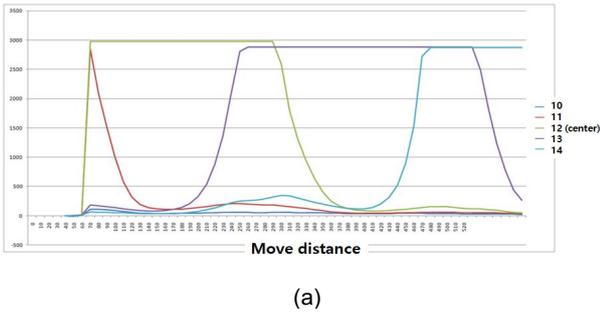


그림 13. 광센서 시험 사진 (1)
 Fig. 13. Photograph of optical sensor experiment (1).

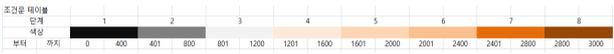


그림 14. 광센서 시험 사진 (2)
 Fig. 14. Photograph of optical sensor experiment (2).

본 실험에서 리니어 액추에이터의 위치가 50 mm부터 130 mm 사이에 있을 때 렌즈의 집광 포인트가 센서 모듈의 정중앙 센서에 결상되었다. 즉 액추에이터 위치 50 mm과 130 mm의 중간 값인 80 mm가 본 실험에서 광 송신 모듈과 광 수신 모듈이 서로 정확하게 일직이 된 상태라고 판단할 수 있다. 이 상태에서 리니어 액추에이터를 계속 이동하여 광센서 배열에 뚜렷한 변화가 감지된 지점을 다음 표 2에 나타내었다. 또한 본 실험에서 광센서의 출력 값은 0~3,000까지 관측 되었고 광센서 배열의 값이 변화가 되었다고 판단하는 기준 표를 표 2에 정리하였다.



(a)



(b)

그림 15. 광센서 시험 결과

Fig. 15. Result of optical sensor experiment.

표 2. 광센서 배열 값의 변화를 판단하는 기준표

Table 2. A reference table for judging a change in the optical sensor array value.

Light Spot location	-0.75	0 Center	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25
Actuator Position	20	90	155	200	255	325	385	435	490
Change Interval	20	0	65	45	55	70	60	50	55

이 실험에 따르면 그림 15 (a)의 결과를 얻을 수 있다. 즉, 광 송신 모듈과 광 수신 모듈의 거리를 15 m로 고정하여 광 수신 모듈을 x축으로 이동할 경우 최대 70 mm, 평균 52 mm 마다 광 센서 배열에서 뚜렷한 변화가 감지되었다. 이를 통해 개발한 시스템의 추정 각도 분해능은 15m 거리에서 최대 0.27도, 평균 0.2도로 계산된다.

그림 15 (b)는 광센서모듈이 움직인 거리에 따라 광센서 배열의 중심 Line인 11~15번의 센서에 검출된 빛의 세기를 ADC값으로 변환하여 나타낸 그래프이다. 모듈이 총 2 m 움직이는 동안 센서에 감지되고 조금 더 이동하면 인접한 센서에 점진적으로 감지되며 한편으로는 인접한 센서와 중첩되어 검출되는 것을 나타낸다. 이를 이용하여 각 위치에 있는 센서들의 빛의 세기를 측정하여 광원의 상대적인 방향을 알 수 있다.

V. 광학식 상대각도 측정센서를 이용한 무인잠수정의 도킹스테이션 유도시스템 설계

5-1 광학식 도킹유도 시험을 위한 무인잠수정의 구성

도킹스테이션 유도시스템 시험에 사용될 무인잠수정의 선체 중앙부 내부의 전장 및 시스템 구성을 그림 16에 나타내었다.

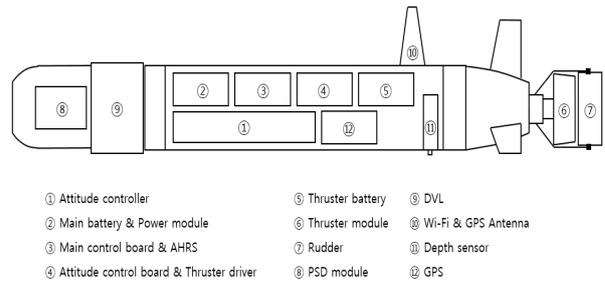


그림 16. 광학식 도킹유도 시험을 위한 무인잠수정의 구성도

Fig. 16. Constitution of AUV for optical docking guidance experiment.

각각 자세제어기(①), 추진기(⑥), 방향타(⑦), 배터리(②, ⑤), 컨트롤보드 등으로 구성되어 있으며, 각 부품들은 선체 내부에 장착된다. 무인잠수정의 선수 공간에는 광센서모듈(⑧)과 DVL 센서(⑨)가 장착되어있고 방수커넥터를 이용해 내부 시스템과 연결되도록 하였다.

5-2 도킹 스테이션 설계

광학센서 기반의 AUV 도킹스테이션은 그림 17과 같이 원뿔 대모양 프레임에 AUV홀더와 광원모듈, 광무선 통신장치, Payload로 설계하였다. 광원모듈은 스테이션 전면프레임에 90도 간격으로 총 4개를 배치하여 프레임의 간섭 없이 네 방향으로 광원을 복사하여 도킹을 유도할 수 있도록 설계하였다. 또한 배치된 4개의 광원모듈은 각자 고유 ID를 가지고 ID마다 지정된 위상과 주파수로 LED를 점멸하여 AUV 입장에서 도킹스테이션의 방향을 인식할 수 있도록 설계하였다. 광무선 통신장치는 스테이션의 AUV 홀더 중앙부에 배치하여 AUV가 도킹이 완료되었을 때 광 무선통신으로 AUV와 데이터 통신하도록 설계하였다.

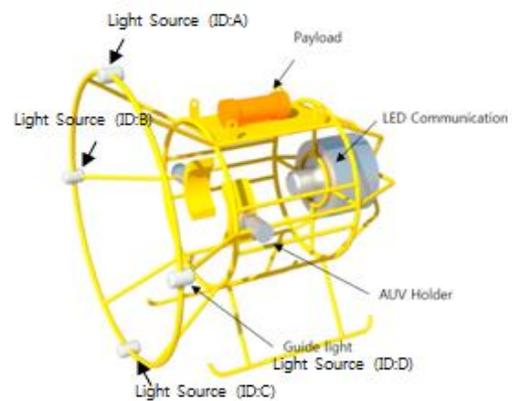


그림 17. 도킹스테이션의 구조

Fig. 17. Structure of docking station.

5-3 도킹스테이션 유도 절차 시나리오 설계

그림 18은 AUV가 수중에서 임무를 수행하고 스테이션에 도킹하는 단계를 나타낸 것이다. STEP 1은 non-optical docking zone 로 도킹스테이션과 상당거리 떨어져 수중의 광 흡수에 의해 도킹스테이션에 부착된 광원모듈의 복사광이 도달하지 않는 영역으로 이 영역에서는 AUV의 자율항법이나 소나를 이용한 USBL 등의 다른 수단으로 도킹스테이션의 대략적인 위치를 추적하여 접근하는 단계이다. STEP 2는 optical docking zone 으로 광원모듈의 복사광이 AUV의 광센서에 충분한 세기로 도달하여 AUV 본선방향에 대한 도킹스테이션의 방향을 정확하게 인지할 수 있는 거리이며 본 논문에서 제안하는 도킹 알고리즘을 이용해 도킹을 시도하는 단계이다. STEP 3은 AUV가 도킹에 성공하여 안착하고 광무선 통신장치로 AUV와 데이터 통신을 수행하여 AUV의 임무를 최종적으로 마무리하는 단계이다.

AUV가 도킹스테이션 근처의 일정거리에서 광원부의 복사광을 인식하고 광센서모듈의 광센서배열에 유도등의 광이 정중앙에 오도록 자세제어를 시행하며 도킹이 유도된다. 그림 19와 그림 20의 (A)는 각각 12시 방향의 광원과 3시 방향 광원에 유도된 AUV를 보여주고 (B)와 (C)은 광원센서 모듈의 광센서 배열을 나타낸 것이다. 또한 AUV가 광원모듈에 의해 유도될 때 스테이션과의 충돌을 피하고 도킹을 위해 적정거리를 유지하여야 하며 이를 감지하기 위한 방법으로 스테이션과 AUV의 거리가 가까워수록 광센서모듈부의 광센서배열에 맺히는 상의 크기가 커지는 것을 착안하고 이용하였다.

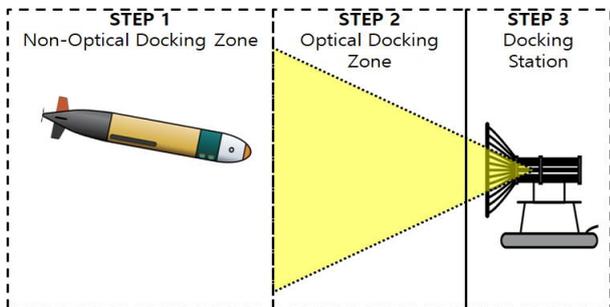


그림 18. 도킹스테이션 유도 절차 시나리오
 Fig. 18. The scenario of docking station induction procedure.

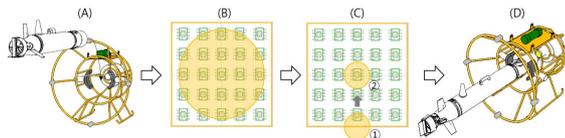


그림 19. 도킹 상황 (1)
 Fig. 19. Situation of docking (1).

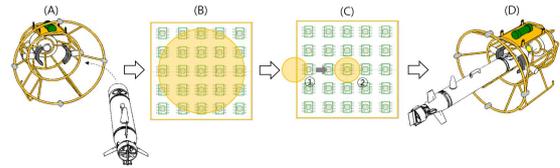


그림 20. 도킹 상황 (2)
 Fig. 20. Situation of docking (2).

VI. 광학식 상대각도 측정센서를 이용한 무인잠수정의 도킹스테이션 유도 실험

본 연구에서 제작한 광원 모듈부를 탑재한 도킹 스테이션과 광센서 모듈부를 설치한 AUV를 이용해 고안한 도킹알고리즘을 적용해서 무인잠수정이 스테이션 근처에 도달하였을 때 수중도킹을 위해 광센서모듈을 사용하여 스테이션에 설치된 광원의 방향으로 AUV를 제어하는 실험을 수행하였다. 실험환경으로는 그림 21과 같이 크기 3 m × 4 m 수조에 1 m의 담수가 있는 실험환경을 구성하였다. 또한 한쪽벽면에 광원을 설치하고 무인잠수정이 광원보다 오른쪽에 있게 하였다. 광원의 위치는 잠수정과 가까운 벽에서 1.5 m 떨어진 부근에 설치하였고 높이는 수면 1 m보다 0.2 m 높은 약 1.2 m이다.

앞서 설치한 광원을 스테이션의 유도등으로 가정하였고, 수조의 수심은 1 m로 광원을 수면보다 높게 설치하였다. AUV는 광센서 모듈에서 검출된 빛의 세기를 입력으로 사용하여 수면에서 광원과의 상대각도를 구하고 방향타를 사용해 광원에 유도되는지 확인한다. 또한 수면보다 위쪽에 있는 광원에 의해 광센서의 입력 값을 확인하고 자세제어기가 제어되는지 확인한다.

AUV가 수면에서 그림 22와 같은 이동방향을 가지며 광원으로 접근하도록 제어한다. AUV는 광원에서 검출된 빛을 향해 선체의 헤딩을 제어하였으며 거리가 가까워짐에 따라 자세제어기 또한 선체의 pitch 각을 위쪽으로 향하게 제어하였다.

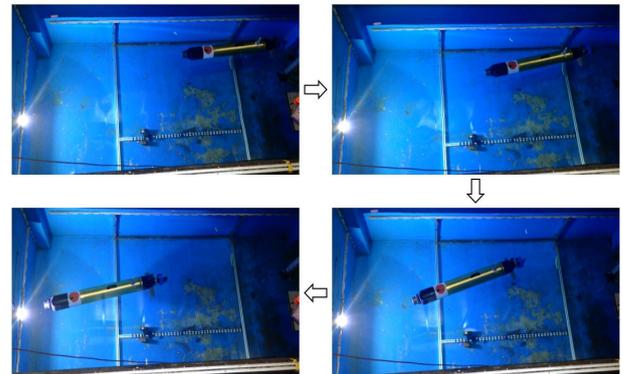


그림 21. 광유도 실험
 Fig. 21. Light guidance experiment.

초기시점의 무인잠수정의 헤딩과 광원과의 각은 약 40도이며 AUV의 광센서를 이용하여 광원과의 상대각도를 연산하고 시간이 지남에 따라 이동하면서 AUV의 헤딩각도가 광원방향으로 수렴하는 것을 보여준다.

VII. 결 론

본 논문에서는 수중에서 광과 광센서를 이용하여 AUV의 도킹스테이션에의 도킹에 대한 새로운 연구를 하였다. 이를 위해 LED를 유도광원으로 사용하는 도킹스테이션과 렌즈, 광 변위 센서, 신호처리기, 연산처리기로 구성된 센서 시스템을 무인잠수정에 장착한 무인잠수정의 종단유도장치 시스템을 제안하였다.

LED 복사광을 이용해 정밀한 상대각도 측정 정밀도를 얻을 수 있도록 집광렌즈 및 광센서 시스템의 원리해석과 이를 검증하기 위해 집광렌즈와 광센서 시스템을 직접 제작하고 기초실험을 수행하였다. 또한 제작한 광학센서를 이용한 AUV와 도킹 시스템을 제작하고 도킹알고리즘을 개발하였으며 개발한 시스템을 AUV에 적용하여 수조에서 기본적인 도킹시험을 수행하여 새로운 도킹 방법으로서의 가능성을 검증하였다.

Acknowledgments

본 연구는 산업통상자원부와 방위산업청의 재원으로 민군협력진흥원 및 국방과학기술원의 지원을 받아 수행된 연구임. (민군겸용기술개발사업 다중센서를 이용한 무인잠수정의 도킹 기술 개발, 17-CM-RB-16) 및 (민·군 기술 적용 연구사업, 연구

과제 번호: 18-SN-RB-01)로 수행된 결과임.

References

- [1] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, IEEE Access, New Jersey: NJ, Vol 4, pp.1518-1547, 2016.
- [2] K. R. Son, "Performance analysis of the visible light communication in seawater channel," *The Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 37, No.5, pp.527-532. 2013.
- [3] W. J. Cox, Simulation modeling and design of underwater optical communication systems, Ph. D. dissertation, North Carolina State University, NC, 2012.
- [4] N. E. Farr, J. D. Ware, C. T. Pontbriand, and M. A. Tivey, "Demonstration of wireless data harvesting from a subsea node using a ship of opportunity," in *Proceeding of the 2013 Oceans-San Diego*, IEEE, San Diego: CA, pp.1-5, 2013.
- [5] S. Arnon, "Underwater optical wireless communication network", in *Proceeding of SPIE-The International Society for Optical Engineering*, Vol. 49, No. 1, Bellingham: WA, pp.1-6, 2010.
- [6] D. Anguita, D. Brizzolara and G. Parodi, "Optical wireless communication for underwater wireless sensor networks: hardware modules and circuits design and implementation", in *Proceeding of OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE*, Seattle: WA, pp.1-8, 2010.



손 현 중 (Hyeon-Joong Son)

2013년 2월 : 건양대학교 전자정보공학과 (공학사)
2015년 2월 : 한국해양대학교 기계공학과 (공학석사)
2017년 2월 ~ 현재 : 한국해양대학교 기계공학과 공학박사과정
※관심분야 : 수중 가시광 통신



최 형 식 (Hyeung-Sik Choi)

1983년 2월 : 고려대학교 기계공학 (공학사)
1989년 2월 : 미국 사우스 캐롤라이나 대학원 기계공학 (공학석사)
1993년 2월 : 미국 노스 캐롤라이나 대학원 로봇공학 (공학박사)
1997년 5월 ~ 현재 : 한국해양대학교 기계공학부 교수
※관심분야 : 휴머노이드 로봇, 무인수중 로봇, 제어시스템, 제어이론



강 진 일 (Jin-Il Kang)

2008년 2월 : 한국해양대학교 기계공학과 (공학사)
2010년 2월 : 한국해양대학교 기계공학과 (공학석사)
2010년 6월~2015년 8월 : STX조선해양 생산기술연구소 근무
2015년 9월~현재 : 한국해양대학교-한국해양과학기술원 해양과학기술전문대학원 박사과정
※관심분야 : 무인잠수정-수중매니플레이터 시스템 설계 및 제어, 무인수상정 동역학해석, 수중로봇 제어



서 주 노 (Joo-No Sur)

1989년 9월 : 미국 해군대학원 (NPS) 기계공학과 (공학석사)
1997년 6월 : 미국 캘리포니아 대학원 (UCSB) 기계공학과 (공학박사)
1997년 6월 ~ 2011년 7월 : 해군사관학교 기계조선공학과 교수
2014년 11월 ~ 현재 : 한국해양대학교 해양무인체계센터 센터장
※관심분야 : 해양무기체계, 수중항법, 제어, 경로계획



정 성 훈 (Seong-Hoon Jeong)

2004년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학 (공학석사)
2007년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학 (공학박사)
2003년 ~ 2010년 : 부산경상대학교 멀티미디어컴퓨터과 교수
2010년 ~ 현재 : 한국해양대학교 산업기술연구소 산학연구교수
※관심분야 : 해양 무인화 시스템, 해양 IoT, 해상통신, ICT 융·복합 기술



김 준 영 (Joon-Young Kim)

1993년 2월 : 인하대학교 조선해양공학 (공학석사)
1999년 8월 : 한양대학교 정밀기계공학 (공학박사)
2005년 4월 ~ 2011년 2월 : 제주대학교 해양시스템공학과 조교수
2011년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 해양신소재융합공학과 교수
※관심분야 : 선체운동모델링 및 동역학 해석, 해양플랜트 설계 및 해석, 무인잠수정 설계 및 제어