

## 광학식 유도장치를 이용한 자율 무인잠수정의 수중 도킹 알고리즘에 관한 연구

최동현\* · 전봉환\*\*\* · 이판목\*\*\* · 김상현\*\* · 임근남\*\*

\*인하대학교 대학원 선박공학과

\*\*인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공

\*\*\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양탐사장비연구사업단

### Study on the Docking Algorithm for Underwater-Docking of an AUV Using Visual Guidance Device

DONG-HYUN CHOI\*, BONG-HUAN JUN\*\*\*, PAN-MOOK LEE\*\*\*, SANG-HYUN KIM\*\* AND GEUN-NAM LIM\*\*

\*Dept. of Naval Architecture, Graduate School of INHA Univ., Incheon, Korea

\*\*Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, School of Mechanical Engineering, INHA Univ., Incheon, Korea

\*\*\*Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon, Korea

**KEY WORDS:** Autonomous underwater vehicle 자율무인 잠수정, Visual guidance device 광학식 유도장치, Docking Device 도킹 장치, Underwater docking system 수중 도킹 시스템, Visual Servoing 비주얼 서보잉

**ABSTRACT:** The more deeply the researches make progress in ocean researches including the seabed resource investigation or the oceanic ecosystem investigation, the more important the role of UUV gets. In case of study on the deep sea, there are difficulties in telecommunications between AUV and ships, and in data communication and recharging. Therefore, docking is required. In AUV docking system, the AUV should identify the position of docking device and make contact with a certain point of docking device. MOERI (Maritime & Ocean Engineering Research Institute), KORDI has conducted the docking testing on AUV ISIMI in KORDI ocean engineering water tank. As AUV ISIMI approaches the docking device, there is some cases of showing an unstable attitude, because the lights which is on Image Frame are disappeared. So we propose the docking algorithm that is fixing the rudder and stern, if the lights on image frame are reaching the specific area in the Image Frame. Also we propose the new docking device, which has a variety of position and light number. In this paper, we intend to solve the some cases of showing an unstable attitude that were found in the testing, which, first, will be identified the validity via simulation.

### 1. 서 론

해저 자원 개발이나 해양 생태계 조사 및 관측, 해저구조물 추적과 같은 해양 조사를 위한 무인 잠수정에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 해양 조사시 심해저일 경우엔 AUV나 ROV같은 무인잠수정은 데이터의 송수신과 전력공급과 같은 통신과 전력, 테더 결합과 해수면 지원 선박의 위험과 같은 상황에서 많은 어려움을 겪고 있다. 이 경우 무인잠수정의 분실로까지 이어질 수 있다. 이를 위해 해저 구조물이나 다른 무인잠수정과 도킹으로 이러한 어려움을 해결하고 있다. 특정 상황이 발생하여도 무인잠수정을 인양할 필요가 없어, 비용과 시간에 있어서 경쟁력을 가질 수 있다(이판목 등, 2003).

현재 세계 많은 무인 잠수정 연구기관들이 도킹 시스템에 대한 연구를 수행중이다. USBL 시스템을 이용하거나(Stokey et al., 2001), CCD 카메라를 이용(이판목 등, 2003) 하는 등 다양한 도킹 시스템뿐만 아니라 소형 도킹 장치(Lambiotte et al., 2002) 등과 같이 다양한 형태에 대해서도 연구 중이다. 이러한 수중 도킹 시에는 무인잠수정과 해양의 특성상 내부 노이즈나 외부의 해류등과 같은 예측 가능하지 못하는 상황이 많이 연출되고, 이를 정확하게 모델링 하는 것이 어렵기 때문에 여러 환경을 만족시키는 강인한 도킹 시스템이 요구 될 것이다.

한국해양연구원에서는 이십이 (ISIMI : Integrated submergible for intelligent mission implementation)라는 소형 자율 무인잠수정의 도킹 시스템에 대한 연구가 진행 중이다(전봉환 등, 2005, 박진영 등, 2006, 최동현 등, 2006). 이 시스템은 소형 자율 무인잠수정의 CCD 카메라가 광학식 도킹 장치의 여러 개의 광원을 인식하여 소형 자율 무인잠수정이 유도되는

교신저자 최동현 : 인천광역시 남구 용현동 253

032-860-7344 choidh99@hotmail.com

것이다. 2006년에 한국해양연구원 내의 해양공학수조에서 이십이의 도킹 실험이 수행되었다.

이번 논문에서는 수조 실험에서 이십이의 도킹 중 나타나는 자세 불안정 사례를 개선시키는 방법을 제안하고자 한다. 도킹 시 이미지 화면에 나타나는 광원의 위치에 따라 비히클의 자세를 고정하는 도킹 알고리즘을 제안하고, 또한 도킹 장치에 광원의 위치나 개수등과 같은 기계적 변경을 주어 도킹 시 나타나는 자세 불안정 사례의 개선을 시뮬레이션을 통해 검증해보고자 한다.

## 2. 이십이의 카메라 시스템

### 2.1 이십이 및 도킹 장치의 제원

한국해양연구원의 이십이는 Fig. 1과 같이 전장이 1200mm, 직경이 170mm인 소형 자율 무인잠수정이다. 도킹 장치는 Fig. 2 (a)와 같은 모습으로 입구의 직경은 1,100mm이고, 안쪽 도킹 부분의 직경은 202mm이며 장치된 전등의 직경은 100mm이다. 도킹 장치의 입구 부분(도킹 장치 외각의 끝부분)에 5개의 광원이 장치되어 있다. Fig. 2 (b)와 같이 5개의 광원 중 위의 4개의 광원은 상반구에 등각을 가지며 배치되어 있고, 하반구에는 외각 중앙, 즉 하단에 나머지 하나의 광원이 장치되어 있다. Table 1은 AUV 이십이의 자세한 제원을 나타내고 있다.

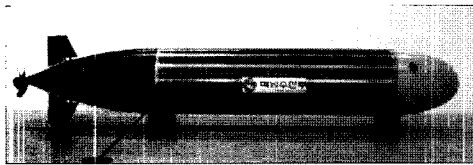


Fig. 1 ISIMI(Integrated submersible for intelligent mission implementation)

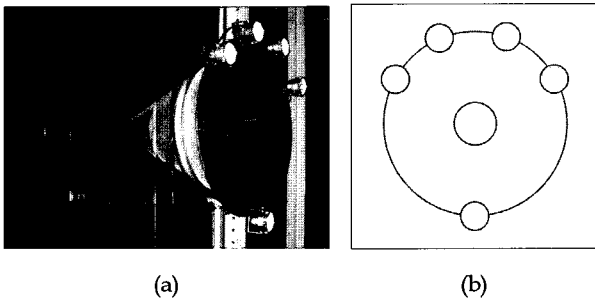


Fig. 2 The docking device

Table 1 Specification of ISIMI

Length	1200 mm
Weight	19.1 kgf
Diameter	170 mm
Buoyancy	20.12 kgf
Max. speed	4 knots
Max. depth	20 m

### 2.2 이십이의 CCD 카메라 시스템

광학식 방법을 이용한 제어 시스템 설계를 위해서는 입력되는 영상신호에 대한 수학 모델이 필요하다. 따라서, 카메라 좌표계에서의 실제 물체의 좌표와 이미지 화면 내에서의 물체의 좌표를 알아야 할 것이다.

Fig. 3과 같이 먼저, CCD 카메라 렌즈를 원점으로 하는 CCD 카메라 고정좌표계를 두고, 도킹 장치의 광원을 나타내는 점의 좌표는  $P(X,Y,Z)$ 으로 한다. 점  $P$ 는 고정점이다. 이미지 화면으로 출력되는 광원의 점의 좌표  $p(u,v)$ 는 AUV 이십이의 운동에 따라 달라질 것이다. 이를 수학적으로 나타내면 다음과 같이(Hutchinson et al. 1996) 나타낼 수 있다.

$$p(u,v) = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{f}{X} \begin{bmatrix} Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $u$ 와  $v$ 는 이미지 화면 내에서의 CCD카메라 좌표에 대한 광원의  $y$ 와  $z$ 좌표이고,  $(X,Y,Z)$ 는 CCD카메라 좌표에 대한 실제 광원의  $x,y,z$  좌표이다. 또한,  $f$ 는 CCD 카메라의 초점거리로써 약 0.9mm이다.

## 3. 이십이 도킹 알고리즘 제안

### 3.1 이십이의 도킹 시스템

이십이의 도킹 시스템은 먼저, 이십이가 도킹장치에서 15~25m 떨어진 곳에서 도킹을 위해 광원을 찾는다. Fig. 2에서 보듯이 도킹 장치의 바깥쪽에 장치된 광원 발생 장치에서 광원이 나오는데, 이십이 선수부 중앙에 위치한 CCD 카메라가 이 광원을 인식하여 이십이의 중앙 컴퓨터로 전송을 하고, 5개의 광원이 이미지 화면에 들어오면 도킹이 시작 된다.

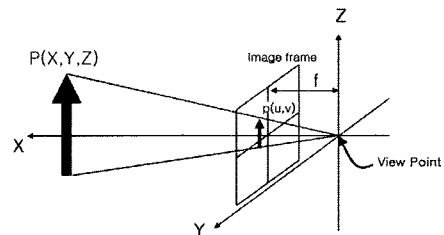


Fig. 3 Coordinate frame for the camera system

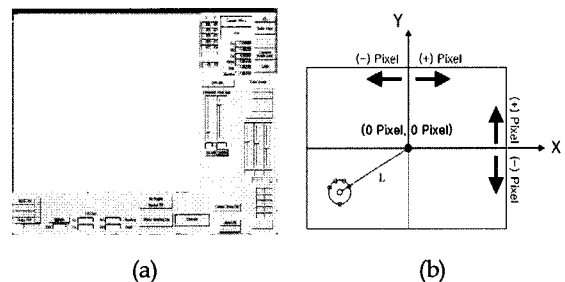


Fig. 4 Web control window(a) and the center of lights on image frame(b)

CCD 카메라가 인식하는 화면(이미지 화면)은 Fig. 4 (a)와 같이 지정된 웹 제어창으로 출력된다. 이심이는 CCD 카메라를 통해 들어오는 영상신호로부터 광원들을 인식하고 이 광원들이 이루는 원의 중심점을 추정한다. 그리고, Fig. 4 (b)와 같이 추정하는 도킹 장치들의 중심점이 이미지 화면의 중앙에 오도록 하는 제어(광원들의 중심과 이미지 화면 사이의 거리(L)가 0이 되는 제어)를 통하여 이심이가 도킹 장치 중앙에 성공적으로 도킹을 할 수 있게 하는 시스템이다.

3.2 이심이의 수조 도킹 실험

2006년 5월에 한국해양연구원 해양공학 수조에서 이심이의 도킹 실험이 진행되었다(전봉환 등, 2006). Fig. 5 (b)에서 보는 바와 같이 이심이는 CCD 카메라를 통해 들어오는 도킹 장치의 광원들의 중심이 이미지 화면의 중심(0 Pixel, 0 Pixel)을 향해 가는 제어가 되다가 도킹 장치에 가까이 가게 되면(실험 후 약 20초 이후), 이미지 화면상에 나타나는 도킹 장치의 광원이 커지고, 광원들 사이의 거리가 멀어지면서 이미지 화면 밖으로 나가는 확률이 높아짐에 따라 추종하던 광원을 잃어 자세가 불안정해져서 급격한 자세 변화를 가져오는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 도킹 알고리즘 및 도킹 장치의 기계적 변경 제안

현재 이심이의 도킹 시스템은 이미지 화면상에서 이심이가 인식하는 광원들의 중심이 이미지 화면의 중심 Pixel로 가는 제어(L이 '0'으로 가는 제어)가 이루어지고 있다. Fig. 6은 이심이가 광원들을 인식하여 이미지 화면에 나타낼 때, 도킹 장치와의 상대 거리가 멀 때와 가까울 때의 이미지 화면의 모습이다. (a)와 같이 이심이와 도킹 장치의 상대거리가 멀 때는 인식하는 광원들의 중심을 추정하여 계속 광원들의 중심이 이미지 화면의 중심에 오도록 제어가 되지만, (b)와 같이 이심이와 도킹 장치와의 상대거리가 가까워지면 인식하는 광원들의 크기가 커지고 광원들 사이의 간격도 상대적으로 멀어지며, 이로 인해 인식하는 도킹 장치의 광원들이 이심이의 이미지 화면상에서 벗어나는 경우가 생긴다. 이와 같이 광원을 잃을 경우엔 이미지 화면을 벗어나지 않는 광원들로 광원들의 중심을 추정한다. 이와 같이 인식하는 광원들의 사라짐으로 이심이는 갑작스러운 자세 변화가 생기게 되고, 심할 경우 급격한 자세 불안정 사례가 발생하는데, 이를 도킹 알고리즘과 도킹 장치의 기계적 변경, 두 부분으로 나누어 이 자세 불안정 사례를 개선시키고자 한다.

3.3.1 도킹 알고리즘 제안

이심이의 이미지 화면에서, 이심이가 인식하는 광원을 잃는 경우는 이심이와 도킹 장치와의 상대거리가 상대적으로 가까운 경우이다. 즉, 상대거리가 가까우면, 그 만큼 이미지 화면에서 인식하는 광원의 크기가 커질 뿐 아니라 광원들 사이의 거리 또한 멀어지게 된다. 따라서 광원을 잃음으로 인해 나타나는 자세 불안정 사례를 개선시키기 위해 광원을 잃기 전 미리 자세를 고정시켜 이심이가 광원에 의해 자세를 급격하게 변화시키는 상황을 미연에 방지하는 것이다. 즉, Fig. 7과 같이 이

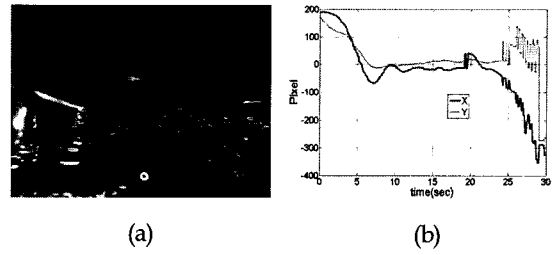


Fig. 5 Docking experiment(a) and result(pixel/s)(b)

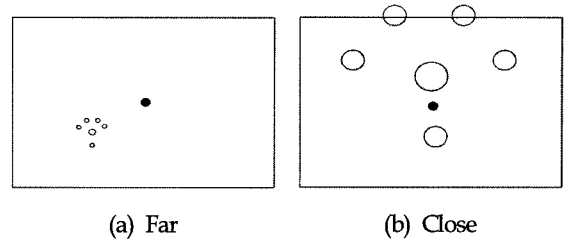


Fig. 6 Image Frame related to the distance between vehicle and docking device

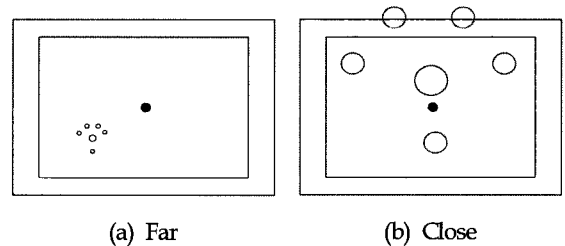


Fig. 7 Image frame related to the distance between vehicle and docking device with the boundary pixel area

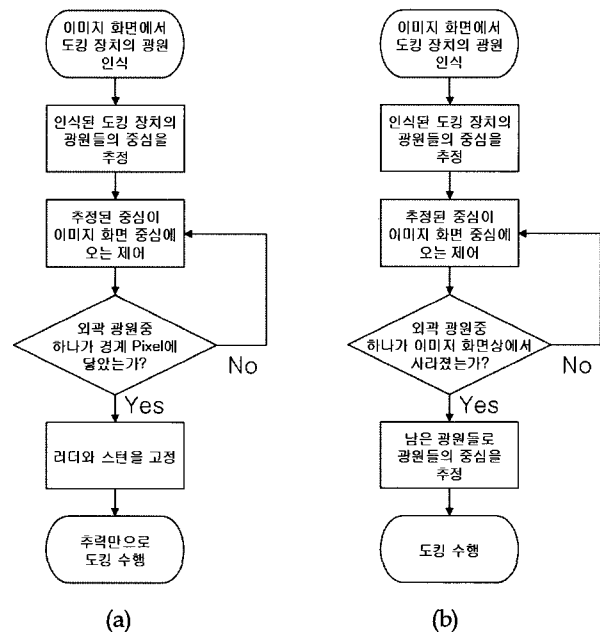


Fig. 8 Flowchart of (a)attitude fixing docking system and (b)remainder light estimation docking system

심이가 인식하는 광원이 임의로 지정한 경계 Pixel영역에 들어 오면 러더와 스텐을 고정시키고 프로펠러에서 나오는 추력만으로 도킹을 하는 것이다. 이는 이심이와 도킹 장치의 상대거리가 약 2m 이내일 때 광원을 잃는 경우가 발생하기 때문에 자세를 고정시켜도 도킹에 큰 문제가 없기 때문이다. 다만, 조류와 같은 외란이 존재하는 해양에서는 비히클과 도킹 장치의 사이가 원거리일 때 이미지 화면상에서 추정하는 광원이 임의로 지정한 경계 Pixel영역으로 들어가는 경우가 발생할 수 있는데, 이를 방지하고자 이미지 화면상에서 추정하는 광원의 크기가 일정 Size 이상이 될 경우, 즉, 비히클과 도킹 장치의 사이가 지정된 거리 이내로 들어올 경우에 제안하는 도킹 알고리즘을 적용해야 할 것이다. 이번 논문에서는 원거리에서 이미지 화면상에서 추정하는 광원이 지정한 경계 Pixel영역 안에 들어가지 않을 정도의 외란을 주었다. Fig. 8에서 제안하는 알고리즘의 Flowchart로 나타내었다.

3.3.2 도킹 장치의 기계적 변경 제안

현재 이심이의 도킹 장치는 Fig. 9의 (a)와 같이 5개의 광원들이 배치되어 있다. 이 5개의 광원들을 인식하여 도킹 장치의 중심을 추정한다. 만일 5개의 광원이 아닌 1개, 4개, 또는 8개의 광원들을 배치한다면 이 광원들의 중심을 추정하거나 현재의 도킹 시스템과 같이 이미지 화면에서 광원을 잃을 경우 나머지 광원들로 도킹 장치의 중심을 추정할 시 급격하게 변하는 추정하는 중심의 위치 변화가 상대적으로 적어질 것이다. 따라서 변경하는 광원들의 개수는 위에서 말한바 같이 1개나 4개 또는 8개로 정하고, 4개와 8개의 광원을 배치할 경우에는 수평 및 수직 운동을 고려하여 상하, 좌우로 대칭이 되도록 Fig. 9와 같이 배치를 한다.

4. 제안하는 도킹 알고리즘 시뮬레이션

4.1 이심이 운동 모델링

이심이의 제어를 설계하기 위해서는 이심이의 운동에 대한

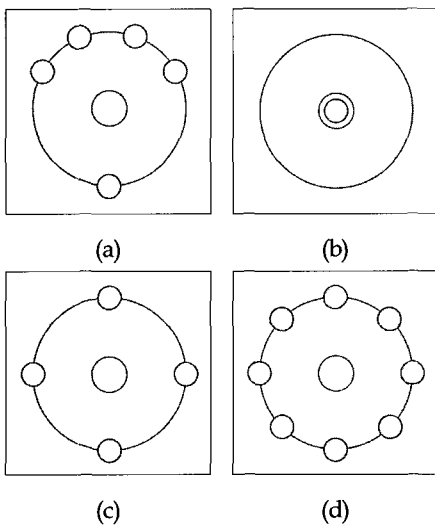


Fig. 9 Displacement of the lights on the docking device

수학적 모델이 필요하다. 이를 위해서 실험을 통해 구한 여러 유체 계수 및 유체력 중 2차 이상의 고차항과 교차 유동항 그리고  $M_{vv}v^2$ 등과 같이 입력할 수 없는 항은 무시한다고 가정하였다(마성진 등, 2006). 본 논문에서는 선형 모델을 사용하였고, 수평, 수직 운동 시 연성운동은 없으며, 수평 운동 시 Yaw를, 수직 운동 시 Pitch를 고려하였고, 속도는 일정하다고 가정하였다. 이때, 수평운동(Yaw운동)과 수직운동(Pitch 운동)으로 각각 나누어 고려하였다. 이심이의 제원을 바탕으로 하여 선형화된 수학 모델을 만들고, 이를 상태방정식으로 나타내었다.

< Horizontal >

$$\begin{aligned} (I_z - \frac{\rho}{2} l^5 N_r) \dot{r} &= \frac{\rho}{2} l^4 N_r r + \frac{\rho}{2} l^3 U^2 N_{\delta_R} \delta_R \\ \dot{\psi} &= r \end{aligned} \tag{2}$$

< Vertical >

$$\begin{aligned} (I_y - \frac{\rho}{2} l^5 M_q) \dot{q} &= (\frac{\rho}{2} l^4 M_q) q - z_G W \theta + \frac{\rho}{2} l^3 U^2 N_{\delta_S} \delta_S \\ \dot{\theta} &= q \end{aligned} \tag{3}$$

4.2 해류 외란의 수학적 모델

현재까지 이심이는 한국해양연구원의 수조에서 실험을 진행해왔다. 추후에 실해역 실험을 해야 하기 때문에 외란이 존재하는 환경에서의 도킹을 고려해야 한다. 따라서 이심이의 시스템 모델링과 더불어 외란의 수학적 모델을 정의할 필요가 있을 것이다. 이번 논문에서의 외란은 수평운동에 대한 해류 외란을 주었고, 평균 해류 속도는 1st-order Gauss-Markov process를 이용하여 나타내었는데,  $V_c(t)$ 는 식 (4)와 같은 방정식으로 표현할 수 있다(Fossen, 1994).

여기서,  $V_c(t)$ 는 평균 해류 속도(Average current speed),  $w(t)$ 는 Zero mean Gaussian white noise이다. 이를 단순응답을 위하여,  $\mu_0 = 0$ 으로 정하였다. 이를 바탕으로 외란을 고려한 상태방정식을 나타내면 식 (5), (6)과 같다.

$$\dot{V}_c(t) + \mu_0 \times V_c(t) = w(t) \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + Ed \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{\psi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \psi \end{bmatrix} + B[\delta_R] + E \begin{bmatrix} w \\ 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

4.3 이심이 도킹 시스템의 제어 시스템

Fig. 10은 해류 외란의 영향을 고려한 수평 운동 Block diagram이다. 그림과 같이 이심이의 이미지 화면의 중심과 도킹 장치의 광원들로부터 추정한 도킹 장치의 중심 사이의 거리  $L$ 이 0이 되도록 하는 제어이다. 현재까지 이심이는 수평제어, 수직제어 시 PID 제어를 하고 있다(전봉환 등, 2006). 이번 시뮬레이션에서도 실험 때와 마찬가지로 PID 제어 시스템을 이용하였다.

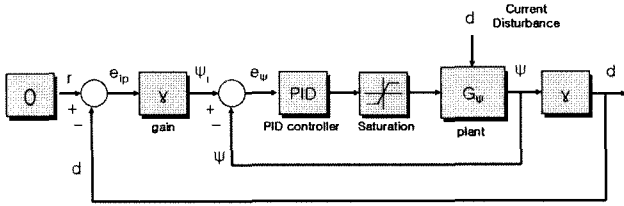


Fig. 10 Horizontal control system block diagram with the current disturbance

4.4 MATLAB 및 Simulink

자세 불안정 사례를 기초로 이를 개선시킬 수 있는 방법으로, - 이미지 화면에서 추정하는 도킹 장치의 광원이 이미지 화면을 벗어나기 전에 비히클의 자세를 고정시키는 알고리즘 - 도킹 장치의 광원의 위치 및 갯수를 달리하였을 때의 도킹 알고리즘

이렇게 크게 두 부분으로 나누어 고려하였는데, Fig. 11은 MATLAB/Simulink에서 시뮬레이션을 수행한 블록선도이다. 전반적인 블록선도를 그림과 같이 나타내었고, 자세한 서브 시스템에 대해서는 이번 논문에서 생략하였다.

4.5 시뮬레이션 결과 및 고찰

이번 논문에서 언급한 성능 개선사항을 미리 검증하기 위한 시뮬레이션은 MATLAB/Simulink를 통하여 수행하였다. 스텐과 리더의 타각을 제어 입력으로 하고, Yaw와 Pitch를 출력으로 하였다.

시뮬레이션은 크게 네 가지로 나누어 수행하였다.

- (1) 실험 시 비히클과 도킹 장치의 상대거리가 가까웠을 때 나타났던 자세 불안정 사례의 시뮬레이션
- (2) 이미지 화면에 임의의 경계 Pixel을 주어 그 경계에 광원이 위치하게 되면 나머지 광원들로 도킹 장치의 중심을 찾는 시뮬레이션
- (3) 이미지 화면에 임의의 경계 Pixel을 주어 그 경계에 광원이 위치하게 되면 비히클의 자세를 고정하는 시뮬레이션
- (4) 해류 외란이 존재하는 환경에서, 이미지 화면에 임의의 경계 Pixel을 주어 그 경계에 광원이 위치하게 되면 비히클의 자세를 고정하는 시뮬레이션과 나머지 광원들로 도킹 장치의

중심을 찾는 시뮬레이션

이 시뮬레이션들을 광원이 Fig. 9와 같이 배치한 네 경우에 대해서 수행하였다.

먼저 Fig. 12는 수조 실험에서 나타난 자세 불안정 사례를 MATLAB/Simulink에서 시뮬레이션으로 수행한 결과이다. 실선이 실제 실험에서 나타났던 자세 불안정 사례의 결과이고, 점선이 이를 시뮬레이션상에서 재현한 결과이다. 실험 사례에서와 마찬가지로 비히클과 도킹 장치 사이의 거리가 상대적으로 가까운 도킹 시작 후 약 23초 부근에서 자세 불안정이 나타났다, 시뮬레이션으로도 확인할 수 있다. 이를 수평운동(a)과 수직운동(b)을 구분하여 나타내었다.

이를 바탕으로, Fig. 13에서는 도킹 장치에 장치되어 있는 광원들의 개수 및 배치에 따라 이미지 화면상의 인식된 광원들이 이미지 화면을 벗어났을 시, 남은 광원들로 도킹 장치의 중심을 찾는 도킹을 비교하였다. 광원의 개수는 Fig. 9와 같이 4가지로 나누었다. 먼저 수평운동만을 비교하였는데, 23초 부근에서 추정하는 도킹 중심의 위치가 급격히 변하는 것을 볼 수가 있다. 광원이 상대적으로 적은 경우(4개일 경우)에는 변하는 정도가 상대적으로 크지만, 광원이 상대적으로 많은 경우(8개일 경우)에는 변하는 빈도는 많지만 변화폭은 크지 않음을 알 수 있다. 이를 수평운동을 할 때(a)와 수직운동을 할 때(b)로 나누어 수행하였다. 예외적으로 비히클이 도킹을 할 때, 수평운동 및 수직운동 모두 광원이 1개일 경우가 가장 우수한 결과를 보여주지만, 도킹 중심에 광원을 장치하는 것은 기계적인 어려움이 많이 따른다.

Fig. 14에서는 도킹 장치에 장치되어 있는 광원들의 개수 및 배치에 따라 이미지 화면상의 인식된 광원들이 이미지 화면을 벗어났을 시 비히클이 자세를 고정하는 도킹 방법의 결과를 나타내었다. 이미지 화면에서 도킹 장치의 중심을 추정할 때, 상대적으로 비히클과 도킹 장치와의 상대거리가 가까울 경우에 많이 발생하기 때문이다. 결과에서 보는바와 같이, 이미지 화면상에서 인식하는 광원을 잃는 도킹 후 23초 부근에서 스텐과 리더를 고정시키기 때문에, 도킹이 될 때까지 이미지 화면상에서 추정하는 도킹 장치의 중심에 큰 변화가 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 도킹 장치에 장치된 광원의 개수에 영향을 받지 않기 때문에 각기 달리 배치한 네 경우에서 거의 비슷하게 나타났다. 이 시뮬레이션도 선행한 시뮬레이션과 마

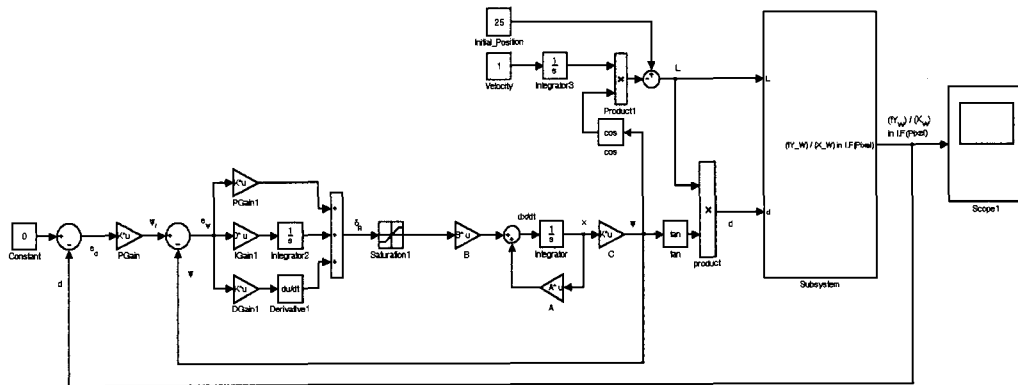
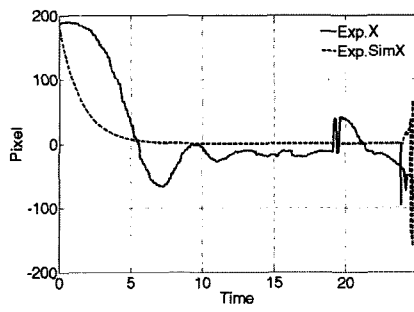
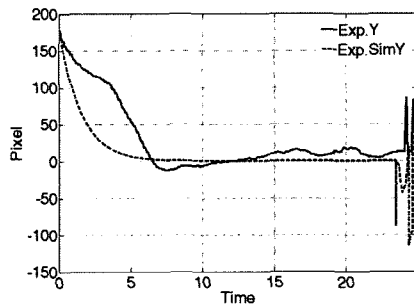


Fig. 11 Docking block diagram in MATLAB/Simulink

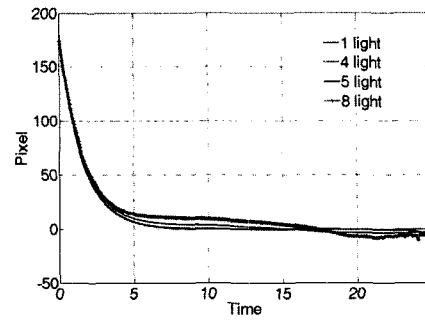


(a)

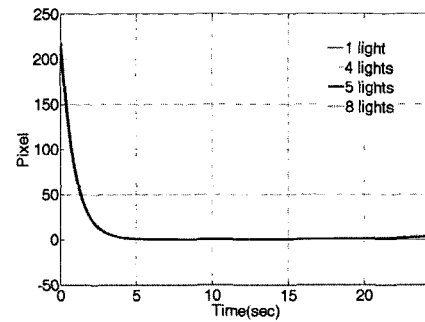


(b)

Fig. 12 Compare a simulation presented experiment with a real experiment ((a)horizontal and (b)vertical)

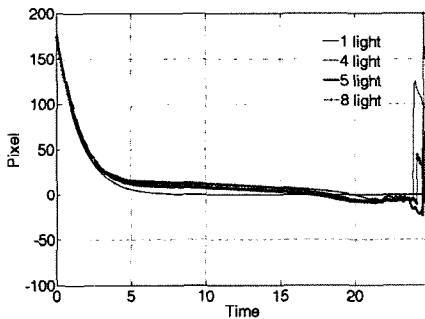


(a)

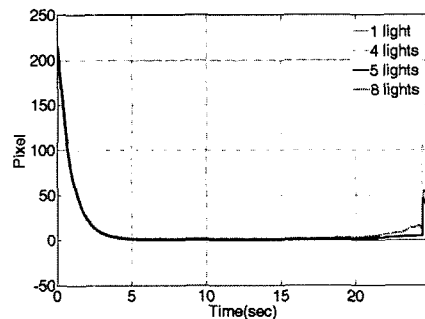


(b)

Fig. 14 Attitude fixing docking in accordance with the light number ((a)horizontal and (b)vertical)

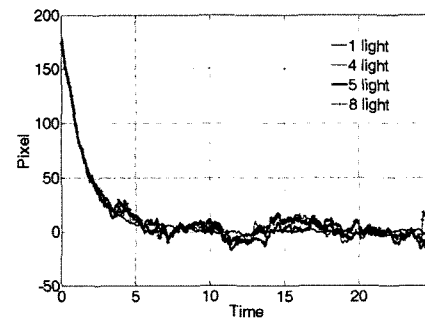


(a)

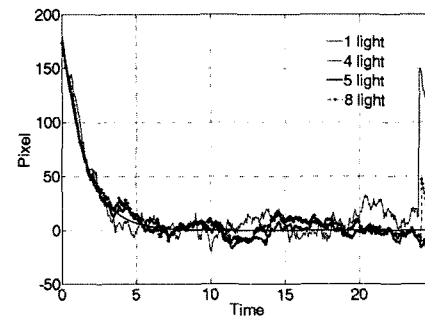


(b)

Fig. 13 Remainder light estimation docking with the other lights in accordance with the light number ((a)horizontal and (b)vertical)



(a)



(b)

Fig. 15 (a)Attitude fixing and (b)remainder light estimation with the other lights in accordance with light number at the current disturbance(horizontal)

찬가지로 수평운동을 할 때(a)와 수직운동을 할 때(b)로 나누어 수행하였다. 화면상에서 추정하는 도킹 장치의 중심에 큰 변화가 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 도킹 장치에 장치된 광원의 개수에 영향을 받지 않기 때문에 각기 달리 배치한 네 경우에서 거의 비슷하게 나타났다. 이 시뮬레이션도 선행한 시뮬레이션과 마찬가지로 수평운동을 할 때(a)와 수직운동을 할 때(b)로 나누어 수행하였다.

마지막으로 해류 외란이 존재하는 환경에서, 도킹 장치에 장치되어 있는 광원들의 개수 및 배치에 따라 이미지 화면상의 인식된 광원들이 이미지 화면을 벗어났을 시, 남은 광원들로 도킹 장치의 중심을 찾는 도킹과 비히클의 자세를 고정하는 도킹을 수평운동에 관하여 비교하였다(Fig. 15). 외란이 없는 환경(Fig. 13 (a))과 외란이 있는 환경(Fig. 15 (b)) 모두 남은 광원들로 도킹 장치의 중심을 찾는 도킹 시에는 임의의 영역에 이미지 화면에서 인식된 광원들이 들어갈 시 23초 부근에서 추정하는 도킹 중심의 위치가 급격히 변하는 것을 볼 수가 있다. 이와는 반대로 비히클의 자세를 고정하는 도킹에서는 외란이 없는 환경(Fig. 14 (a))과 외란이 있는 환경(Fig. 15 (a)) 모두에서 큰 변화 없이 도킹이 이루어짐을 알 수 있다.

### 5. 결 론

AUV ISIMI는 도킹을 위해 도킹 장치에 장치되어 있는 광원을 비히클의 CCD 카메라가 비히클의 이미지 화면에서 인식한 광원들로부터 도킹 장치의 중심을 추정하고, 추정한 도킹 장치의 중심이 이미지 화면의 중심에 오도록 하는 제어가 이루어지고 있다. 수조 실험 결과 비히클과 도킹 장치 사이의 상대 거리가 가까우면 이미지 화면에서 인식하는 광원들이 이미지 화면에서 사라지는 경우가 발생하였다. 이 경우 추정하는 도킹 장치의 중심이 급격히 변하여 이것이 비히클의 자세에도 영향을 미칠 수도 있다. 이를 위해 광원이 비히클의 이미지 화면 밖으로 나가기 전에 비히클의 자세를 고정시키는 방법과 도킹 장치에 기계적 변형을 주는 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이번 논문에서는 다음과 같은 결과를 확인 할 수 있었다.

- (1) 도킹 시 비히클과 도킹 장치 사이의 상대 거리가 가깝기 때문에 이미지 화면에서 광원을 잃을 시 나머지 광원들로 도킹 장치의 중심을 추정했을 때에 나타나는 자세 불안정 사례를 개선할 수 있다.
- (2) 도킹 장치의 광원의 다양한 배치중 다수의 광원을 상하 좌우의 대칭으로 배치하면 도킹 시 비히클과 도킹 장치 사이의 상대 거리가 가까울 때 나타 급격한 중심 추정의 변동을 줄일 수 있는 것으로 확인되었다.

### 후 기

본 연구는 해양수산부의 해양수산연구개발사업인"차세대 심

해용 무인잠수정 개발(6)과제, 중점연구사업인 "U-기반 탐사선단의 스마트 운용기술 개발" 과제, 인하대학교 교내연구사업인 "대형 수중 비히클의 운동제어시스템에 관한 연구" 연구결과의 일부임을 밝히며 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

마성진, 전봉환, 이판목, 김상봉 (2006). "자율무인잠수정 이심이의 선수각 및 심도 제어기 설계와 외란 특성 분석", 2006년 한국해양공학회 추계학술대회 pp 351-354.

박진영, 이필엽, 이판목, 전봉환, 김기훈, 오준호 (2006). "무인잠수정의 자세 제어와 수중 도킹을 위한 비주얼 서보 제어에 관한 연구", 2006년 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, pp 1813-1818.

이판목, 전봉환, 이종무 (2003). "자율무인잠수정의 수중도킹을 위한 비주얼 서보 제어 알고리즘", 한국해양공학회지 제 17권 제 1호, pp 1-7.

전봉환, 박진영, 이판목, 오준호 (2005). "소형 자율항주 수중로봇의 시스템 설계와 초기성능시험", 국방수중로봇 워크샵 2005, pp 1-6.

전봉환, 이판목, 박진영, 이필엽, 김기훈, 이종무, 오준호 (2006). "수중도킹을 위한 자율무인잠수정 이심이의 최종 유도제어", 국방로봇 기술시범 및 워크샵 논문집, pp 1-7.

최동현, 전봉환, 박진영, 이판목, 김상현, 오준호 (2006). "광학식 유도장치를 이용한 자율무인잠수정의 수중 도킹 종단 유도 제어", 2006년 한국해양공학회 추계학술대회 pp 335-338.

Fossen, T.I. (1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons.

Lambiotte, J.C., Coulson, R., Smith, S.M. and An, E. (2002). "Results from Mechanical Docking Test of a Morpheus Class AUV with a Dock Designed for an OEX Class AUV", Proc. Of OCEANS, pp 677-682.

Stokey, R, Allen, B., Austin, T., Goldsborough, R., Forrester, N., Purcell, M., and Von Alt, C. (2001). "Enabling Technologies for REMUS Docking: An Integral Component of an Autonomous Ocean-Sampling Network", IEEE J. Of Ocean Engineering, Vol 26, No 4, pp 487-497.

Hutchinson, S., Hager, G.D. and Corke, P.I. (1996). "A Tutorial on Visual Servo Control", IEEE Trans. on Robot. Automat., Vol 12, No 5, pp 651-670.

2007년 3월 2일 원고 접수

2007년 6월 8일 최종 수정본 채택