

# 관람객과 상호 교감하는 전래동화-로봇의 수중무대 연출시스템 구현 Realization of Fairy Tale - Robot Aquarium Display System with Visitor Interaction

신 규 재\*★

Kyoo-Jae Shin\*★

## Abstract

This paper had implemented the underwater stage through interaction with fish robots and visitors in the background of traditional fairy tales using 3D floating hologram in an aquarium. The recognition of the object position of the spectator and the underwater robot were performed using the color recognition algorithm. Also, the position tracking algorithm was proposed to follow the object of the visitor and the original fairy tale. This experimental system consists of fish robot, camera, KIOSK for underwater robot control and beam project for underwater imaging. This experiment was carried out by the National Busan Science Museum, and it had satisfied the performance of the underwater stage.

## 요 약

본 논문은 수족관에서 유사 3D 플로팅 홀로그램으로 구현되는 전래동화를 배경으로 물고기 로봇과 관람객이 상호 교감하는 수중무대를 구현한다. 색상인식 알고리즘을 이용하여 관람객과 수중로봇의 개체 위치인식을 수행하였고, 관람객과 전래동화의 개체를 추종하기 위한 위치 추종 알고리즘을 제안하였다. 본 실험장치는 수중로봇 제어를 위한 물고기 로봇, 카메라, KIOSK와 수중영상을 연출하기 위한 빔 프로젝트로 구성된다. 본 실험은 전래동화와 수중로봇을 기반으로 관람객과 상호 교감하는 수중무대 구현을 국립부산과학관에서 수행한 결과 성능이 우수함을 확인하였다.

*Key words : Fish Robot, Fairy Tales, Water Stage, Tracking Control, 3 D hologram, Aquarium stage*

\* Dept. of Electronics and Robotics Engineering, Busan  
University of Foreign Studies

★ Corresponding author

E-mail : kyoojae@bufs.ac.kr, Tel : +82-51-509-6781

※ Acknowledgment

This work was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2018

Manuscript received Dec. 12, 2018; revised Dec. 14, 2018; accepted Dec. 17, 2018

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.

## 1. 서론

최근 수중로봇은 사용목적과 적용하고자 하는 환경에 따라 ROV(Remotely Operated Vehicle), AUV (Autonomous Underwater Vehicle)이 상업적, 군사적과 학술적인 목적으로 연구되어 왔다. 또한 생체 모방형 수중로봇으로는 물고기, 뱀장어, 상어, 해파리 등이 연구개발 되어 왔으며, 특히 물고기 로봇은 환경 모니터링을 목적으로 한 물고기 로봇과 관상어용 물고기 로봇은 연구가 진행되어 왔다 [1], [2].

본 연구에 적용된 물고기 로봇은 관상어를 목적으로 연구되어 왔으며, 로봇의 유체역학적 모델링

과 유영 메커니즘에 대한 연구를 진행하였다. 본 로봇은 대형 수조와 아쿠아리움에서 운용하기 위하여 국내 해역에서 생활하고 있는 도미를 표방하여 유영 메커니즘을 연구하였고, PSD 센서를 내장하여 장애물을 회피할 수 있도록 하였으며, 유영 경로를 자율생성 알고리즘을 적용한 인공지능형 물고기 로봇을 개발하였다. 설계된 로봇은 관람객 전시용을 목적으로 설계되었으며, 물고기 로봇의 유영알고리즘은 Lighthill 운동학 해석을 기초로 하여 생체 모방의 유영 근사화 방법을 적용하였다. 로봇의 각 관절은 추진력을 갖는 사인파로 유영 알고리즘을 근사화 함으로써 추진력을 최적화 구현하였고, 관람객용 물고기 로봇의 특성상 필요한 내구성, 방수성, 충전 등의 연구도 진행되었다. 본 로봇은 대형 수조의 현장시험평가 설계사양 즉, 로봇간의 군집 유영 및 추적제어 시에 위치 이동제어에 대한 위치오차값  $\pm 100[\text{mm}]$  이내로 만족함을 확인하였다[3].

본 논문은 유사 3D 홀로그램효과를 이용하여 수중에서 전래동화를 연출하고 관람객과 물고기 로봇이 상호 교감하는 수중무대 연출을 목적으로 한다. 이러한 수중무대 연출시스템은 그림 1과 같이 유사 3D 홀로그램 연출을 위한 수중스크린 및 프로젝터, 그림 2의 물고기 로봇, 시스템 통합 제어용 PC가 내장된 KIOSK, 제어 모니터와 영상 카메라로 구성된다.

관람객과 물고기 로봇간의 상호 교감하는 즉 관객의 위치를 인식하고 자동으로 관객을 따라 오는 물고기 로봇의 군집 유영을 연출하고자 한다. 이를 위하여 논 논문에서는 색상 인식에 의한 개체 위치 인식 알고리즘을 제안하고 또한 물고기 로봇의 군집 유영을 위한 위치 추종 알고리즘을 제안한다.

본 연구는 제안된 색상 위치인식 알고리즘을 이용하여 물고기 로봇과 관람객의 추적 성능에 대하여 2018년 7월부터 10월까지 국립부산과학관에 전시 및 실험이 수행되었다. 전시 기간동안 유사 3D 홀로그램을 이용하여 신별주부전의 전래동화를 수중에서 연출하였고 이를 배경으로 관람객과 물고기 로봇의 상호교감이 수행되도록 수중무대 구축하였다. 제안된 유사 3D 홀로그램의 수중무대, 색상 위치인식 알고리즘과 위치 추종 알고리즘에 대한 실험을 실시한 결과 성능이 우수하였다.

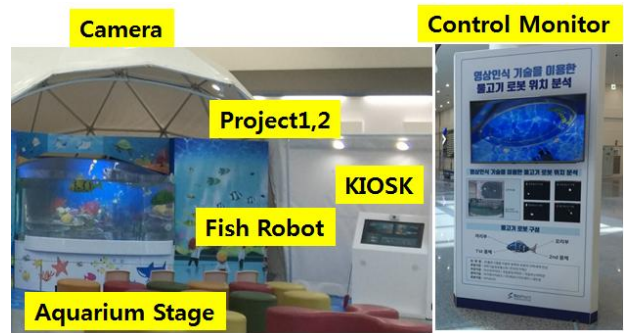


Fig. 1. Configuration of aquarium stage display system.  
그림 1. 수중무대 연출시스템 구성



Fig. 2. Designed Fish Robot.  
그림 2. 설계된 물고기 로봇

## II. 수중무대 설계

### 1. 물고기 로봇 설계

제안된 물고기 로봇은 2개의 링트 형태로써 머리, 1단 몸체, 2단 몸체와 꼬리로 구성된다. 물고기 로봇에 작용하는 힘은 로봇은 순간적인 유영에 의하여 결정된다. 물고기 로봇에 작용하는 힘은 x축 전진 방향의 추진력(Thrust)과 후진방향의 물의 저항력

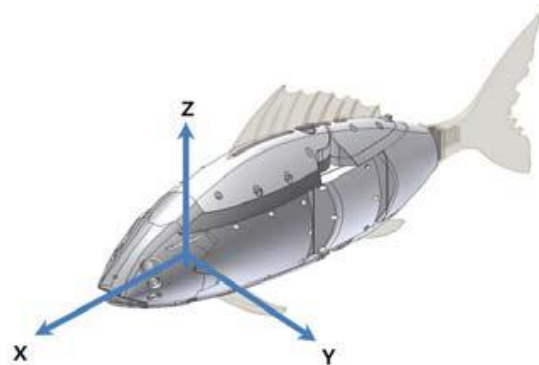


Fig. 3. Acting axes of fish robot.  
그림 3. 설계된 물고기 로봇

(Resistance), z축방향의 수직방향으로 중력(Weight)과 부력(Buoyancy)이 그림 3과 같이 작용한다. 또한 물고기 로봇의 물리적 파라미터(크기와 중량)와 관련된 추력 모델의 상수 파라미터와 유영과 관계 추정 파라미터를 해석한다. 각 물체의 추력 모델링을 위한 각 구성부의 크기 제원은 표 1과 같다.

Table 1. Physical parameters of fish robot.

표 1. 물고기 로봇의 물리적 파라미터

| Component | Specification [mm] |       |        |
|-----------|--------------------|-------|--------|
|           | Length             | Width | Height |
| Head      | 70                 | 72    | 110    |
| 1'st Body | 180                | 90    | 175    |
| 2'st Body | 82                 | 80    | 150    |
| Tail      | 190                | 70    | 180    |

수중환경에 의하여 물고기 로봇에 작용하는 힘은 로봇 고정좌표계  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i]$ 를 기준으로 유체에 작용하는 힘으로 표현하면, 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$\vec{F}_i = -\frac{1}{2} \rho_{water} \begin{bmatrix} (C_{d\hat{x}_i} L_i H_i + C_{f\hat{x}_i} (H_i + L_i) W_i) v_{\hat{x}_i} |v_{\hat{x}_i}| \\ (C_{d\hat{y}_i} L_i W_i + C_{f\hat{y}_i} (L_i + W_i) H_i) v_{\hat{y}_i} |v_{\hat{y}_i}| \\ (C_{d\hat{z}_i} W_i H_i + C_{f\hat{z}_i} (W_i + H_i) L_i) v_{\hat{z}_i} |v_{\hat{z}_i}| \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$- \begin{bmatrix} 0 \\ \rho_{water} H_i L_i W_i g \\ 0 \end{bmatrix}$$

여기서,  $v_{x_i}$ :  $i$ 번째 물체-고정좌표계  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i]$ 의  $\hat{x}_i$  축 속도

$W_i, L_i, H_i$ :  $i$ 번째 물체의 너비, 길이, 높이

$C_{d\hat{x}_i}, C_{d\hat{y}_i}, C_{d\hat{z}_i}$ : 각 물체-좌표계  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i]$ 의 항력 계수

물고기 로봇의 유영형태는 Lighthill에 의해 제안된 동역학 분석을 통한 유영모델에 대한 연속함수와 이산함수는 식(2)와 같다.

$$y_i(x,t) = (C_1 x + C_2 x^2) \sin(kx - 2\pi ft) \quad (2)$$

$$= (C_1 x + C_2 x^2) \sin(kx - \frac{2\pi}{M} i)$$

3개의 물체를 이용하여 진행파를 근사할 경우 오

차를 식(3)과 같이 정의할 수 있으며, 관절각도는 진행파와 동일한 주파수를 갖는 사인파로 식(4)과 같이 근사화할 수 있다.

$$error = \sum_{i=0}^{n-1} \int_{x_{*i}}^{x_{end}} |g(x) - f(x)| \quad (3)$$

$$\theta_i = a_i \sin(2\pi ft + p_i) \quad (4)$$

설계된 물고기 로봇은 대형 수족관에서 6개월 동안 성능실험 및 평가가 진행되었다. 성능 실험결과, 추진속도는 280[mm/sec], 최소 유영 회전반경은 480[mm]이내이고, 자율유영 및 잠항 및 부상 반복 연속실험이 실시 되었으며, 또한 니켈수소 전지 8,100[mA]를 사용하여 6시간 연속운전이 가능함을 확인하였으며, 로봇 내부에 가스를 가압으로 충전하여 밀폐성능을 향상시킴으로써 방수 성능을 검증하였다[3].

## 2. 개체 색상 인식 알고리즘 설계

관람객과 물고기 로봇의 상호교감을 위하여는 물고기 로봇과 관람객을 위치인식이 필요하다, 따라서 영상 위치인식 알고리즘 연구로써 경계검출 알고리즘[4], Optical Flow 알고리즘[5], 색상인식 알고리즘[6]이 등이 연구되었다.

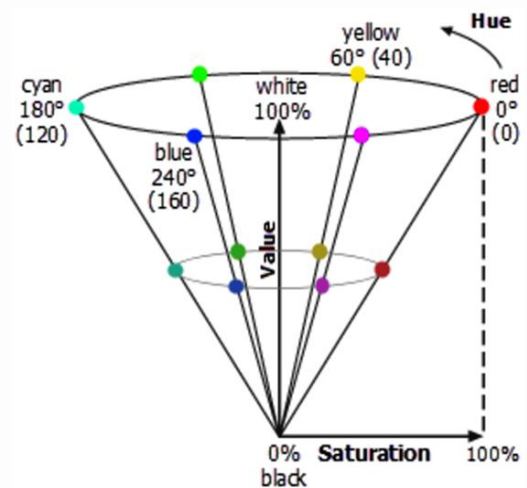


Fig. 5. HSV color space model.

그림 5. HSV 색상 공간 모델

본 연구에서는 수족관내에 다양한색상의 물고기 로봇의 개체인식은 수족관 특성상 빛의 산란 및 조명 등의 영향을 고려하여 HSV 색상 공간모델을 활용한 색상인식 알고리즘을 제안한다. 개체인식은 모양이나 색상으로 감지 할 수 있기 때문에 영상처

리는 필수적인 요소이다. HSV 색상 모델은 색상 공간이 단일 원뿔로 표현되는 색상 공간모델로써 그림 5와 같다.

HSV 색상공간 모델에서 색조(H) 값은 원뿔을 중심으로 반 시계 방향으로 각도로 주어지는 0°에서 360°까지 0~240 값으로 샘플링된다. 또한 채도(S) 값은 0~100를 0~255 정수로 지정한다. 색상의 채도는 회색과 같은 중간 색상에서 벗어나는 정도를 나타내며, 채도가 255이면 색이 완전히 포화된 상태이고 채도가 0이면 색상이 불포화되어 회색으로 표시된다. 색상(V) 값은 흰색 강도로써 0~255 정수값으로 지정된다. H, S, V값은 각기 식(5), (6), (7)에서 구할 수 있다[7][8].

$$V = \max(R, G, B) \tag{5}$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{if } v \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

$$H = \begin{cases} \frac{60(G-B)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } v = R \\ 120 + \frac{60(B-R)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } v = G \\ 240 + \frac{60(R-G)}{V - \min(R, G, B)} & \text{if } v = B \end{cases} \tag{7}$$

여기서, 만약  $H < 0$ 이면,  $H = H + 360$

제안된 색상인식 알고리즘을 이용하여 물고기 로봇의 위치를 검출한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6(a)는 수조 상부에 위치한 영상 카메라를 통하여 획득한 영상이고 그림 6(b), (c), (d), (f)는 제안된 색상 인식 알고리즘에 의하여 검출된 각 물고기의 위치인식 영상이다. 이 영상을 이용하여 물고기 로봇의 절대 위치값( $x, y$ )을 검출할 수 있다.

### 3. 위치 추종 알고리즘 설계

관람객과 물고기 로봇의 상호교감 방법으로 사람이 특정한 색상의 마크를 들고 이동하면 물고기 로봇이 이 마크 위치를 추종하도록 하는 그림 7과 같이 개체 인식 위치 추종 알고리즘을 제안한다.

물고기 로봇의 위치각 명령 값이 입력되면 물고기 위치 값 추종 알고리즘에 의하여 실시간으로 영상 처리되어 입력되는 개체인식을 통한 위치 명령

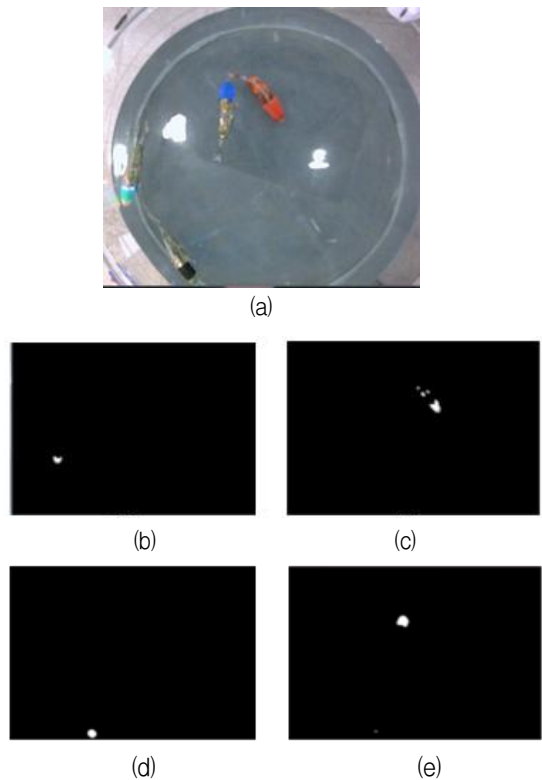


Fig. 6. Detecting Robots using proposed color segment algorithm (a) original video, (b) green fish (c) red fish, (d) black fish, (e) blue fish.

그림 6. 제안된 색상인식알고리즘을 이용한 물고기로봇 위치 검출 (a) 원본영상, (b) 녹색물고기, (c) 적색물고기, (d) 흑색 물고기, (e) 청색물고기

값에 추종하게 된다. 이때의 물고기로봇의 위치 제어 전달 함수는 식(8)과 같다[9].

$$G(S) = \frac{s^2 k_m k_d + s k_i k_p + k_i k_m}{s^3 R_a J + s^2 (k_m k_b + R_a B + k_m k_i k_d) + s (k_m k_i k_p) + k_m k_i k_i} \tag{8}$$

여기서  $K_m$ : 모터이득,  $K_d$ : 미분이득,  $K_i$  is 적분이득,  $K_p$ : 비례이득,  $J$ : 모터의 관성모멘트,  $K_b$ : 역기전력,  $K_t$ : 각도신호 이득,  $R_a$ : 정류자 저항,  $B$ : 점성 마찰계수,  $L_a$ : 정류자 인덕턴스

제안된 위치 추종 알고리즘은 그림 8(a)와 같이 카메라를 통하여 영상을 획득하게 되면 제안된 객체인식 색상인식 알고리즘에 의하여 각 각 물고기의 위치값을  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ 을 결정할 수 있다. 이때 그림 8(b)와 같이 관람객의 녹색 마크의 위치값  $(x_0, y_0)$ 이 검출되면 그림 7의 제안된 위치 추종 알고리즘에 의하여 녹색마크 위치 값  $(x_0, y_0)$ 로 물고기 로봇이 위치 추종하게 된다.

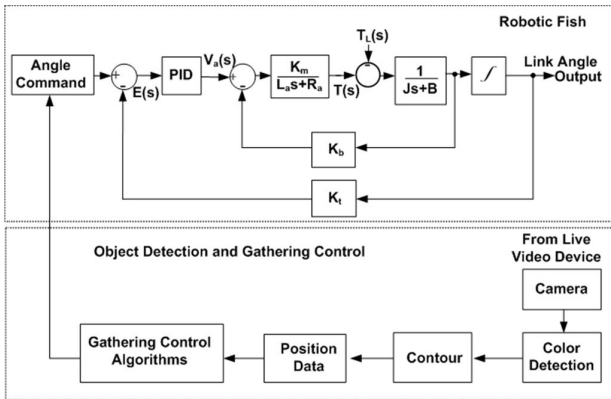
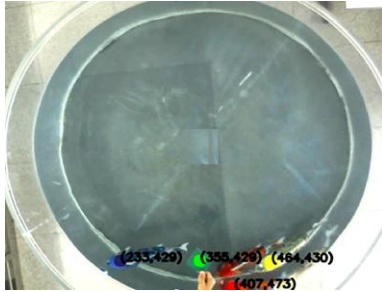


Fig. 7. Proposed object position tracking algorithm.  
그림 7. 제안된 개체인식 위치 추종 알고리즘



(a)



(b)

Fig. 8. Test result of the proposed object position tracking algorithm.

그림 8. 제안된 위치 추종 알고리즘의 시연 결과

4. 유사 3D 홀로그램 수중무대

유사 3D 플로팅 홀로그램을 연출하기 위한 방법으로 수족관의 뒷면에 곡면 스크린을 입체적으로 설치하고 2개의 영상 프로젝터를 이용하여 제작된 영상물을 상영하는 방식으로 수중의 곡면 스크린 상에 상 맺힘이 일어나는 방식으로 전래동화를 그림 9(a)와 같이 연출한다. 영상물은 국립 부산과학관의 관람대상이 어린이와 부모인 점을 고려하여 우리나라의 전래동화 별주부전을 각색하여 현대판 신별주부전을 그림 9(b)와 같이 제작하여 유사 3D 홀로그램의 수중무대를 구현하였다. 물고기 로봇과

유사 3D 영상물인 물고기의 수중 연출은 그림 10과 같다.



(a)



(b)

Fig. 9. Manufactured aquarium stage and fairy tales.  
그림 9. 제작된 수중무대와 전래동화(신별주부전)



Fig. 10. Image result of the proposed similar 3D hologram.  
그림 10. 제안된 유사 3D 홀로그램의 영상 결과

III. 실험결과

제안한 전래동화와 수중로봇 상호교감 구현을 위한 수중무대를 그림 11과 같이 3D 홀로그램 수중 스크린 및 프로젝터, 물고기 로봇, 시스템 통합 제어용 PC가 내장된 KIOSK, 제어 모니터와 영상 카메라 및 VR 장치로 구성된다. 본 실험은 2018년 7월부터 10월까지 국립 부산과학관에서 관람객을 대상으로 실험이 실시되었다.

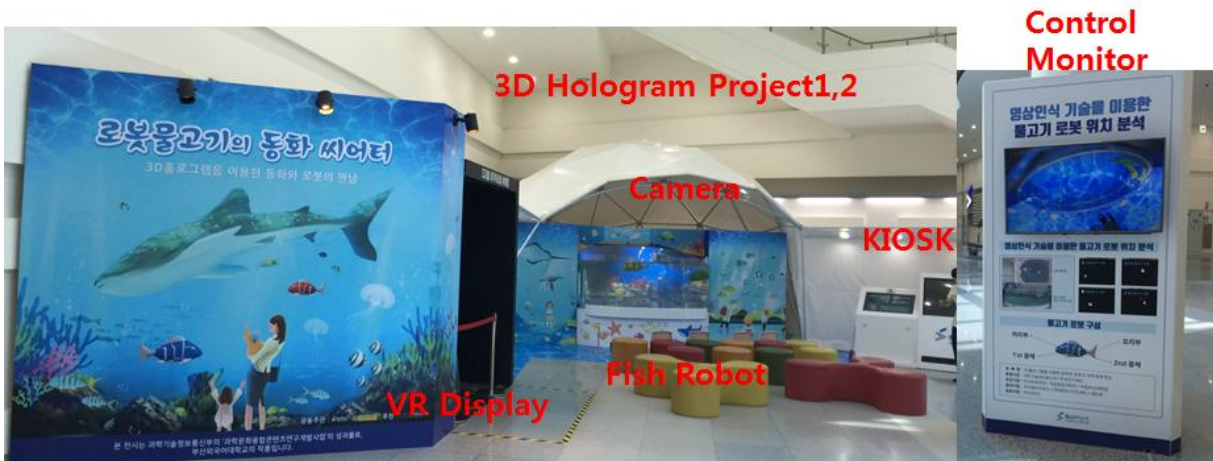


Fig. 11. Realization of aquarium display stage (Busan National Science Museum).  
 그림 11. 전래동화와 수중로봇 상호교감 구현을 위한 수중무대 (국립부산과학관)



Fig. 12. Display fairy tales using 3D hologram.  
 그림 12. 유사 3D 홀로그램 전래동화 시연

제안된 유사 3D 홀로그램 장치를 이용하여 가상의 물고기를 곡면 스크린에 2개의 프로젝트를 이용하여 그림 12와 같이 투상한 결과 플로팅 홀로그램 효과가 잘 연출되었다.

관람객과 물고기 로봇간의 상호 교감하는 즉 관객의 위치를 인식하고 자동으로 관객을 따라 오는 물고기 로봇의 군집 유영을 연출하기 위한 색상 인식에 의한 개체 위치 인식 알고리즘과 위치 추종 알고리즘에 대한 실험이 실시되었다.

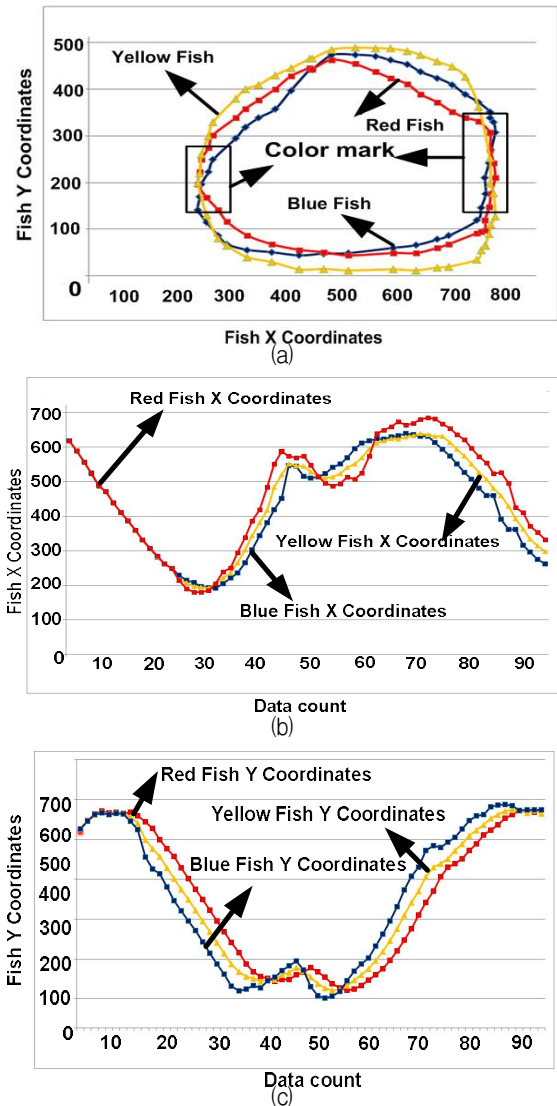


Fig. 13. Experimental results of the proposed object tracking algorithm.  
 그림 13. 제안된 개체인식 위치 추종 알고리즘의 실험결과

제안된 개체 인식 위치 추종 알고리즘의 성능시험은 그림 8과 같은 방법에 의하여 관람객의 녹색마크 위치값을 식(5)~(7)에 의하여  $(x_0, y_0)$ 을 인식하고 물고기 로봇에 명령값을 인가하였을 경우, 영상 카메라에 의하여 검출된 영상신호로부터 그림 8(a)와 같이 물고기의 위치값을  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ 을 검출하여 제안된 개체 인식 추종 알고리즘을 적용한 실험 결과는 그림 13과 같다.

관람객의 녹색마크위치를 2곳으로 이동하였을 때, 적색, 청색, 황색 물고기 로봇의 위치 궤적을 그림 13(a)에서 확인할 수 있으며, 이동궤적을 분석한 결과 마크 위치를 잘 추종하고 있을 알 수 있으며, 육안 실험 결과는 그림 8(b)에서 확인 할 수 있다. 또한 물고기 로봇간의 군집 유형시에 위치 이동궤적에 대한 위치오차값  $\pm 100[\text{mm}]$  이내로 녹색마트에 대한 위치 추종과 로봇간의 군집 유형이 정상적으로 동작됨을 그림 13(b)와(c)에서 확인 할 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문은 수족관에서 유사 3D 홀로그램 연출한 수중 전래동화와 관람객과 물고기 로봇이 상호 교감할 수 있는 수중무대를 구현하였다.

본 실험 장치는 수중무대 구현을 위한 물고기 로봇, 카메라, KIOSK와 유사 3D 홀로그램 수중영상을 연출하기 위한 빔 프로젝터로 구성된다. 또한 유사 3D 홀로그램을 이용하여 전래동화를 배경화면으로 연출하고 수중로봇과 관람객이 상호 교감할 수 있도록 개체인식색상 알고리즘과 위치 추종 알고리즘을 제안하였다.

연구 결과물의 실험은 2018년 7월부터 10월까지 국립부산과학관에서 전시를 통한 실험을 수행한 결과, 본 논문에서 제작한 곡면 스크린을 활용한 수중무대를 이용하여 전래동화 신별주부전은 유사 3D 홀로그램을 이용하여 수중에서 양호하게 연출되었고, 제안된 영상인식 및 위치 추종 알고리즘에 의하여 관람객과 물고기 로봇간의 상호교감이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다.

#### References

[1] H. T. Choi, K. H. Kim, P. M. Lee, C. M. Lee

& B. H. Jun, "Introduction to ROV and motion control & signal processing for ROV Hemire," *Journal of the Korean Society for Precision Eng.* vol.26, No.5, pp.41-47, 2009.

[2] Hydroid, "Remus 6000, Autonomous Underwater Vehicle", www.hydroidinc.com

[3] K. J. Shin, "Development of Autonomous Bio-Mimetic Ornamental Aquarium Fish Robotic," *KIPS (Korea Information Processing Society)*, vol.4, No.5, pp.219-224, 2010.

[4] G. Xie and W. Lu, "Image Edge Detection Based On Opencv," *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, vol.1, No.2, pp.104-106, 2013.

[5] Yu Zhang, Tingting Wang, Zhihao Cai, Yingxun Wang, Zhenxing You, "The Use of Optical Flow for UAV Motion Estimation in Indoor Environment," *proceedings of 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference*, 12~14, pp.785-790, China, 2016.

DOI:10.1109/CGNCC.2016.7828885

[6] K. J. Shin, "Detecting the Position of the Fish Robot using the Color Segment Algorithm," *IEEE Future Technologies Conference 2016*, pp. 896-900, San Francisco, USA, 2016.

DOI:10.1109/FTC.2016.7821709

[7] B. J. Kim and K. J. Shin, "Realization of Human Interactive Control for Bio-mimetic Ornamental Aquarium Robotic," *IEIE Tran. on Smart Processing ad computing*, vol.7, no.5, pp.333-341, 2018. DOI:10.5573/IEIESPC.2018.7.5.333

[8] K. J. Shin and Y. R. Musunuri, "Realization of Aquarium Robot Holographic World using 3 Axes Tracking Optical Flow Detecting Method," *IEEE Future Technologies Conference 2016*, pp. 916-922, San Francisco, USA, 2016.

DOI:10.1109/FTC.2016.7821712

[9] B. J. Kim and K. J. Shin, "Realization of Fish Robot Tracking-control Methods for a Science Museum," *IEIE Trans. on Smart Processing ad computing*, vol.7, no.4, pp.333-341, pp.279-288, 2018. DOI:10.5573/IEIESPC.2018.7.4.279

---

**BIOGRAPHY**

---

**Kyoo-Jae Shin** (Life Member)

1985 : BS degree in Electronics Engineering, Won Kwang University.  
1988 : MS degree in Electrical Engineering, Cheonbuk National University.

2009 : PhD degree in Electrical Engineering, Busan National University.

1988~1991 : Teacher of Navy Tech. School

1991~1997 : Research Manager, Doosan Ind.

1997~2014 : Professor in Dept. of Electrical Control Engineering, Suncheon 1st University

2014~Present : Professor in Dept. of Electronics and Robotics Engineering, Busan University of Foreign Studies