

논문 2014-51-2-24

# 소나 영상 기반의 수중 물체 인식과 추종을 위한 구조 : Part 1. 소나 영상의 특성을 고려한 인공 표식물 설계 및 인식

( 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 )

이 영 준\*, 이 지 흥\*\*, 최 현 택\*

( Yeongjun Lee, Jihong Lee, and Hyun-Taek Choi<sup>©</sup> )

## 요 약

본 논문은 탁도의 영향으로 사용이 제한적인 수중 광학 카메라의 대안으로 수중 영상 소나(imaging sonar)를 사용하여 수중 물체를 인식하여 추종하는 구조를 제안한다. Part 1에서, 영상 소나의 현실적인 성능을 고려한 2차원 인공 표식의 설계 방법과 인식 방법을 제안한다. 특히 영상 소나와 초음파의 특성을 분석하여 피인식성을 극대화 할 수 있는 재료를 선택하였으며, 물체의 모델링이 쉬운 무지향성이며 단순한 외형을 채택하고, 표식으로 사용이 가능한 영역 기반 특징 요소를 포함한 내부 형태를 제안하였다. 또한 제안한 인공 표식을 실시간으로 인식할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 외곽선 추출, 허프-원-검출기에 의한 유사도 및 위치 추정, 형상 행렬의 비교에 의한 표식의 분류하는 알고리즘을 포함하고 있다. 제안한 인공 표식과 인식 알고리즘의 유용함을 DIDSON (영상 소나)를 사용한 수조 실험으로 검증하였다.

## Abstract

This paper proposed a framework of recognition and tracking for underwater objects using sonar images as an alternative of underwater optical camera which has the limitation of usage due to turbidity. In Part 1, a design and recognition method for 2D artificial landmark was proposed considering the practical performance of current imaging sonars. In particular, its materials are selected in order to maximize detectability based on characteristics of imaging sonar and ultrasonic waves. It has a simple and omni-directional shape which allows an easy modeling of object, and it includes region based features as identifications. Also, we proposed a real-time recognition algorithm including edge detector, Hough circle transforms, and shape matrix based recognition algorithm. The proposed methods are verified by basin tests using DIDSON.

**Keywords :** Underwater Object Recognition, Artificial Landmark, Imaging Sonar, DIDSON.

\* 정희원, 한국해양과학기술원 해양시스템연구부  
(Korea Institute of Ocean Science & Technology)

\*\* 정희원, 충남대학교 메카트로닉스공학과  
(Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam National University)

© Corresponding Author(E-mail: htchoi@kriso.re.kr)

※ 본 연구는 한국해양과학기술원의 “고정밀 임무 수행을 위한 인공지능 기반의 수중 로봇 기술 개발” 과제 및 산업통상자원부의 “수중 인공 구조물의 국소지역 정밀탐사가 가능한 1.0m 위치 오차를 갖는 수중로봇 자율유형 기술개발” 과제 지원을 받아 연구 되었습니다.

접수일자: 2013년11월19일, 수정완료일:2014년2월3일

## I. 서 론

환경인식, 위치 추정, 항법, 지도 작성 등 다양한 로봇 연구 분야에서 카메라로부터 획득한 영상 정보를 사용하는 것은 이미 필수적인 요소가 되었으며, 새로운 하드웨어와 후 처리 알고리즘의 발전으로 그 의존도는 지속적으로 증가하고 있다. 수중로봇 분야에서도 영상 정보를 활용한 연구는 제한적이긴 하나 꾸준히 진행되어 왔다. 수중용 광학카메라를 이용하여 얻은 수중 영상에서 특징(feature)을 추출하여 수중로봇의 위치 추정하고<sup>[1]</sup>, 배터리 충전 및 취득한 데이터의 고속 전송을 위해 설치된 수중 도킹 장치로의 유도 방법<sup>[2~6]</sup>, 도킹에 필요한 수중의 3차원 공간에서 정밀한 상대 자세 정보를 얻는 방법으로 광학 영상을 이용한 연구도 진행되고 있다<sup>[7]</sup>.

수중에서 광학영상을 취득하는 것은 빛이 통과하는 매체가 다른 까닭으로 공기 중과 많은 차이점을 보이거나 특히, 높은 탁도와 부족한 조명이 가장 두드러진 어려움으로 인식되고 있다. 특히 수심이 낮은 천해의 경우, 불균질한 햇빛의 영향과 수면 반사에 의한 심한 빛의 왜곡 그리고 높은 탁도의 영향으로 현실적으로 수중 광학 카메라의 사용이 매우 제한될 수밖에 없다.

이에 대한 첫 번째 대안으로 여겨지는 수중 영상 소나는 빛의 유무와 관계없이 초음파의 주파수에 따라 100 - 200m까지 사용이 가능하며 광학 카메라에 비해 탁도의 영향을 매우 적게 받는다. 특히 다수 초음파의 전송과 수신을 동시에 처리하여 영상을 생성하는 멀티빔(multi beam) 소나는 수중 광학 카메라에 가장 근접한 센서로 고려되고 있다. 수중 영상 소나는 경험이 있는 운영자가 직접 영상을 판독하는 방법으로 사용되고 있으며, 영상 처리에 의해 물체를 인식하는 것에는 아직 많은 어려움이 있다.

영상 소나의 예로서 그림 1-(a)는 세계적으로 가장 성능이 우수한 소나 중에 하나이며 본 연구에서 사용한 미국 Sound metrics 社의 Dual-frequency identification sonar (DIDSON)이다<sup>[8]</sup>. 영상 소나는 초음파가 물체에 반사되고 돌아오는 신호의 시간과 세기로 각 화소를 표현하기 때문에 광학 영상과 비슷한 형태를 띠고 있으나, 그림 1-(b)에서 보는 바와 같이 화질이 매우 낮고 잡음이 많아 물체의 자세한 형상 표현이 어렵고, 색을 표현할 수 없기 때문에 물체의 구별이 쉽지 않다.

또 하나의 어려움으로 소나 영상에서의 중첩과 초음파 그림자(acoustic shadow)를 고려해야한다. 그림 2에

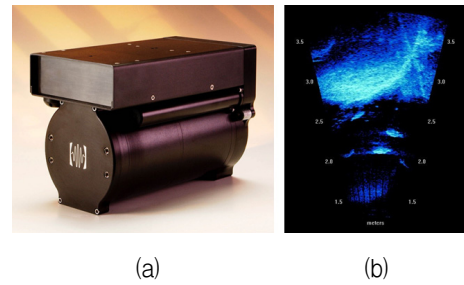


그림 1. (a) 고해상도 수중 영상 소나 (DIDSON)  
(b) 바다에서의 DIDSON 소나 영상  
Fig. 1. (a) High quality Imaging Sonar (DIDSON)  
(b) Sonar image of DIDSON in sea.

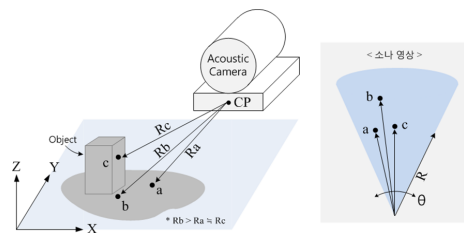


그림 2. 소나 영상의 좌표 (거리, 방향각)  
Fig. 2. Coordinate of sonar image (Distance, Azimuth).

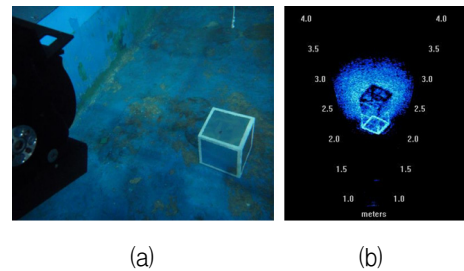


그림 3. 정육면체의 영상: (a) 광학 영상 (b) 소나 영상  
Fig. 3. Images of cube: (a) optical image (b) sonar image.

서 평면상의 점(a)까지 거리는  $R_a$ 와 물체(object)상의 점(c)까지 거리  $R_c$ 가 같고 두 점이 하나의 트랜스듀서 수직 주사폭에 포함된다면 두 점은 소나 영상에서 중첩(overlap)되어 구분할 수 없다. 이로 인하여 3차원 물체에 대한 형태가 정확히 표현되기 어렵다. 또한 초음파가 도달하지 않는 영역이 존재하기 때문에 발생하는 초음파 그림자(acoustic shadow)의 영향으로 실제 물체와 그림자 사이에 인식의 혼란을 가져올 수 있다. 그림 3을 보면 소나 영상에서 정육면체의 세 면이 서로 중첩되어 실제 정육면체 형태를 확인하기 어렵고 위아래가 반대로 표현되는 이유로 인식의 혼란을 가져올 수 있다. 따라서 일반적으로 연속적인 영상에서 물체의 유무와 계수를 하는 정도로 사용이 되고 있다.

그럼에도 불구하고 소나 영상을 활용한 영상 처리에 대한 연구가 진행되어 왔다. [9]은 탁도가 높은 강에서

언어의 개체수를 파악하기 위해 영상 소나가 사용된 결과를 제시하였다. 소나 영상 평면에 대한 3차원 물체의 투영 모델을 바탕으로 물체를 인식하거나<sup>[10~11]</sup>, 고정된 거리에서 다중 시선(multi-view) 영상을 획득하여 템플릿 매칭(template matching)을 통해 물체를 인식하는 연구도 수행되고 있다<sup>[12]</sup>. 그러나 이미 설명한 바와 같이 저 품질의 제한된 소나 영상 정보에서 자연물을 인식하려는 시도는 충분히 만족할 만한 결과를 가져오지 못했다.

본 논문에서는 소나 영상에서 취득한 영상의 현실적인 품질 수준을 감안하여 2차원의 인공 표식물을 대상으로 하였다. 이는 인식의 결과를 자율 수중 로봇의 항법에 사용될 것을 목적으로 하기 때문에 특정 정보를 포함한 인공 표식물의 인식이 충분히 의미를 가진다고 할 수 있다. 이를 위해 소나 영상의 특징 분석을 통해 이에 적합한 인공 표식물의 설계 방법을 제안하고, 3차원 공간에 놓이는 인공 표식의 인식 방법을 제안한다. 인식 성능을 높이기 위해 인공 표식의 설계와 인식 방법이 동시에 고려되었으며, 모든 진행과정은 실험을 통한 검증 절차를 거쳤다.

본 논문의 본론 1에서 인공 표식물의 설계를 위한 조건을 제시하고, 2에서 이 조건으로부터 설계된 인공 표식의 예를 보인다. 본론 3에서는 이 인공 표식물을 인식하기 위한 방법을 제안한다. 제안한 인공 표식물과 인식 방법의 유효성을 실험을 통해 검증하여 그 결과를 III. 실험에 나타내었고, 마지막으로 결론을 내렸다.

## II. 인공 표식물의 설계 및 구현

### 1. 인공 표식물의 설계 조건 분석

본 논문에서는 영상 소나가 초음파를 이용하는 것에 착안하여 소나 영상에 적합한 인공 표식의 재료와 형태를 제안한다. 특히, 수중에 투입될 것을 감안하여 수동형 표식물, 수중 환경과 대비한 인식성, 소형이며 경량일 것을 추가 조건으로 설정하였다.

#### 가. 인공 표식물의 재료 선정

영상 소나는 광학 카메라와는 달리 빛을 사용하지 않기 때문에 빛과 관련된 어떠한 특징도 유효하지 않다. 대신 영상 소나는 초음파를 전송하여 물체에 반사되어 돌아오는 초음파의 시간과 세기를 측정하는 원리를 사용한다. 따라서 이 시간으로부터 물체까지의 거리를 얻고, 세기로부터 물체의 외형적인 특징을 얻어 흑백의

영상으로 구성하게 된다. 여기서 물체의 외형적인 특징은 표면 재질의 강도 및 밀도의 상태에 따라 산란, 흡수, 반사되어 초음파의 양이 달라지는 것에 의해 좌우된다<sup>[13]</sup>. 그림 4는 물체의 표면 상태에 따른 초음파의 산란 및 반사 현상을 보여준다. 초음파는 표면이 거친 물체에 부딪치는 경우 산란되는 양이 많아지는 성질을, 매끄러운 표면에서는 반사되는 양이 많아지는 성질을 보인다. 또한 재질의 경도나 밀도에 따라 초음파의 반사, 흡수, 투과하는 정도의 차이를 보인다. 영상 처리 측면에서 볼 때 밝기의 경사도(gradient)가 큰 영역에서 선 검출(edge detection)이 용이하다는 점을 고려하여 앞에서 언급한 초음파의 특성과 재질의 관계를 최대한 응용할 수 있음을 알 수 있다.

표면이 거친 재질은 주로 암석이나 콘크리트 재료에서 찾을 수 있고, 반면 표면이 매끄러운 재질은 금속판 또는 플라스틱 계열의 재료에서 찾을 수 있다. 여러 가지 재료를 투입한 실험에서 위 초음파의 특징을 확인하였으며, 앞에서 언급한 조건을 가장 잘 만족하는 방법으로 부식 방지 처리가 된 금속 철판에 건축자재의 일종인 겔-스톤으로 인공 표식을 형상화하는 방법을 결정하였다. 부식 방지된 철판은 초음파의 투과가 적고 반사율이 높으며 알루미늄에 비해 가격이 저렴하면서 적당히 무게가 있어 수중 장착이 용이한 장점이 있다. 반면 겔-스톤은 콘크리트와 같이 산란을 최대화 할 수 있으며 가볍고 저렴하여 임의의 형상을 구현할 수 있는 장점이 있다. 그림 5는 언급한 재료를 이용하여 제작한 인공 표식으로 소나 영상에서 볼 때 마치 발광 소자로 제작한 것 같은 효과를 얻을 수 있다. 물체에 주사된 초음파의 반사가 재질에 따라 완벽하게 대비되어 명확한 윤곽선을 얻을 수 있고, 이로부터 수중의 자연물에 비해 보다 높은 시인성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

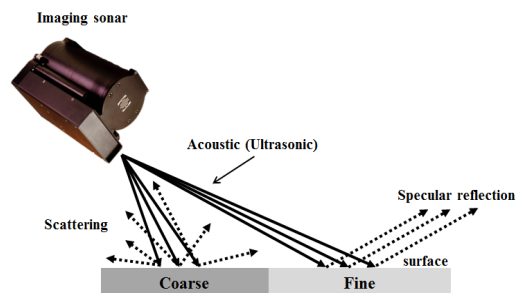


그림 4. 물체 표면 상태에 따른 초음파의 반사 및 산란  
Fig. 4. Reflection and scattering of ultrasonic along with surface condition of object.

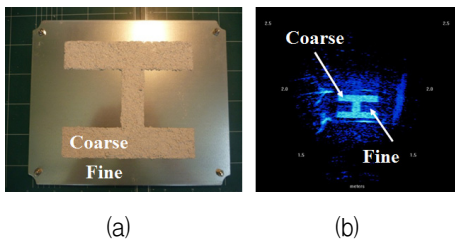


그림 5. 제안한 방법에 의해 제작된 표식의 예:  
(a) 광학 영상 (b) 소나 영상  
Fig. 5. Example of landmark made by proposed method: (a) optical image (b) sonar image.

### 나. 인공 표식물의 형태 선정

제안한 재료를 이용하여 다양한 형태의 2차원 인공 표식을 구현할 수 있다. 그림 5의 결과와 같이 인간이 사용하는 문자 또는 직관적인 인식이 가능한 표식이 좋은 후보가 될 수 있다. 그러나 인공 표식이 해저면에 놓이고 그 위에서 수중 로봇이 영상 처리를 통해 인식할 것이라는 운용 조건을 감안하면 방향성을 가지는 일반적인 문자는 그리 좋은 후보가 아니라고 할 수 있다. 특히 여러 표식을 투입할 경우 각각의 표식에 대한 인식 알고리즘을 모두 구현해야 하는 단점이 있다.

한편 인공 표식의 시인성을 극대화 할 수 있는 재료를 사용했음에도 불구하고 거리가 멀어져서 전체 영상에서 대상체가 작은 경우 인식의 어려움이 증가할 수밖에 없다. 이를 보완하기 위해서는 표식의 구성이 선보다는 면을 중심으로 하는 것이 유리하다. 소나 영상에서 특징 요소별 인식률을 보면 영역(area) 기반 특징 요소를 사용한 경우가 특징점(point feature) 기반 특징 요소를 사용한 경우에 비해 평균적으로 인식률이 높은 것을 확인할 수 있다<sup>[14]</sup>. 이러한 이유는 물체의 정적인 형태와 자세한 물체의 정보 획득이 어려운 소나 영상의 한계를 고려할 때<sup>[10, 13]</sup> 영역 기반의 특징 요소가 특징점 기반의 특징 요소보다 잡음과 왜곡 현상에 강인하기 때문으로 판단된다.

본 논문에서는 소나 영상의 다양한 특징과 인식을 위한 사전 연구 결과를 기반으로, 외부는 원형이며 내부에는 영역의 분할 방법을 이용한 형태의 인공 표식물을 제안한다. 외형이 원이기 때문에 무지향성의 특징을 가지며 외형이 각이 없기 때문에 잡음에 강하다. 해저면에 놓인 인공 표식을 영상 소나로 위에서 볼 때 아래보기(tilt) 각도에 따른 변형만이 인식을 위한 모델에 고려할 부분이 되며, 다른 후처리에도 유리한 점이 있다. 또한 표식의 내부에 상이한 정보를 포함하지만 외형의 인

식 방법은 동일하다는 장점이 있다. 표식 내부의 영역 분할은 영상 처리에 의해 구별이 가능한 정보를 유지하는 수준까지 가능하다. 이 방법 역시 무지향성의 특징과 아래보기에 의한 변형이 있어도 특징이 크게 바뀌지 않는 장점이 있다.

### 다. 제안한 방법에 의해 구현된 인공 표식

제안한 방법은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 초음파의 특성을 고려할 때 대비를 극대화 할 수 있는 재질
- (2) 소나 영상에 나타나는 형태의 특징을 고려할 때 쉬운 모델링이 가능한 무지향성 및 단순한 외부 형상
- (3) 특정 영역(area)에 의해 식별이 가능한 형태를 포함한 내부 형상

본 논문에서는 위 조건을 기반으로 그림 6과 같은 인공 표식을 제안한다. 이 표식은 부식 방지된 철판에 겔-스톤으로 제작되었으며, 원의 실제 크기는 22cm이다. 표식에는 면적으로 구분이 가능한 4개의 식별 코드를 부여하였다.

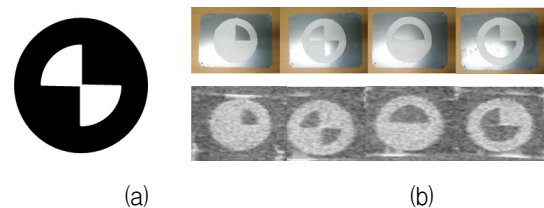


그림 6. (a) 제안한 인공 표식물의 기본 모델 (b) 식별 코드(ID)가 있는 구현된 인공 표식물과 해당 표식의 소나 영상

Fig. 6. (a) Basic model of proposed artificial landmark (b) Artificial landmarks with ID.

## 2. 인식 기법의 구현

본 논문에서 구현된 인공 표식물의 인식 방법은 두 단계로 나뉜다. 첫 번째 단계는 외부 형태를 인식하여 표식물의 위치를 찾고, 두 번째는 내부 영역의 식별 코드(ID)를 구별하여 최종 인식하는 단계이다.

구체적인 방법으로 취득한 소나 영상에서 케니 선 검출기를 사용하여 윤곽선을 추출하고 인공 표식의 물체 모델과 추출된 윤곽선 사이의 유사도를 판별한다. 본 논문에서는 다양한 유사도 판별법 중에서 허프-원-검출기(hough circle transform)를 사용하였다<sup>[15]</sup>. 원형 인공 표식물의 물체 모델(object model)은 영상 소나(sonar)의 아래보기 각도(tilt, 수면 기준)와 소나 영상에



서 보는 실제 범위(range, 영상 Y축)를 통해 나오는 스케일(scale) 값이 고려되어 얻어진다. 물체 모델을 얻을 수 있는 원형 인공 표식물의 영상 좌표계 변환식은 식(1)과 식(2)를 이용한다.

$$\begin{bmatrix} x_{distort} \\ y_{distort} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{real} \\ y_{real} \end{bmatrix} \quad (\theta_D: \text{sonar tilt}) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_{img} \\ y_{img} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/(R/H) & 0 \\ 0 & 1/(R/H) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{distort} \\ y_{distort} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식(1), 식(2)에서  $(x_{real}, y_{real})$ 은 실제 물체 모델의 외곽선 위치를 나타내며,  $(x_{distort}, y_{distort})$ 는 각도에 의해 왜곡된 위치를 말한다.  $(x_{img}, y_{img})$ 는 초음파 영상 평면으로 투영된 물체 모델의 결과이다.  $H$ 는 영상에서 세로 방향 픽셀 개수이며,  $R$ 은 영상에서 세로방향이 나타내는 실제 거리의 범위(단위 : meter)이다.

인공 표식물 내부에 있는 식별 코드의 인식을 위해서 사전에 알고 있는 기준 형상 행렬(reference shape matrix)과 영상으로부터 검출된 형상 행렬(extracted shape matrix)을 비교하여 영역의 형태를 인식하는 방법을 사용하였다<sup>[16]</sup>.

그림 7의 왼쪽 그림은 본 연구에 사용되는 인공 표식물에서 형상 행렬을 얻기 위한 추출 위치를 나타낸다. 내부의 영역 형태를 추출하기 위해 3열(line)로 10도 간격으로 영상의 값을 확인한다. 검출된 형상 행렬의 값은 영상의 각 점에서 흰 부분은 1, 검은 부분은 0으로 표기된다. 얻어진 검출 형상 행렬과 사전에 주어진 기준 형상 행렬 사이에 유사도를 구하는 방법은 식(3)을 따른다. 식(3)에서  $S$ 는 행렬 유사도이며,  $A$ 와  $B$ 는  $m \times n$ 의 검출 및 기준 형상 행렬이다.  $A_{ij}$ 와  $B_{ij}$ 는 행렬의 각 원소를 가리킨다.

$$S(A, B) = 1 - \frac{1}{m \times n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m |A_{ij} - B_{ij}| \quad (3)$$

위 방법은 영역의 형태뿐 아니라 구현된 인공 표식물

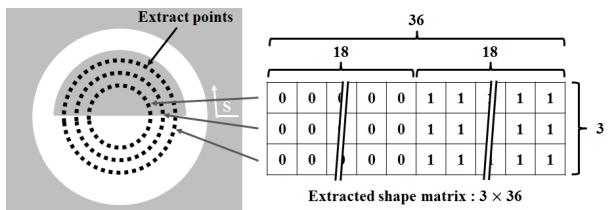


그림 7. 식별 코드 인식을 위한 형상 행렬 추출 방법  
Fig. 7. Shape matrix extraction method for ID recognition.

의 인식 과정에서 표식물의 회전 값까지 연산할 수 있으며, 이를 통해 인공 표식물을 바라보는 방향(Z축 기준)을 알 수 있다. 결과적으로 인공 표식물과 영상 소나와의 3차원 위치추정으로 확장이 가능하다.

### III. 실험

제안된 설계 조건을 바탕으로 구현된 인공 표식물의 성능을 검증하기 위해 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 내 해양장비 실험용 수조에서 검증 실험을 수행하였다.

#### 1. 인공 표식 모델 (object model) 및 유사도

인공 표식물의 외형을 원으로 선정하였기 때문에 인공 표식의 모델은 그림 8에서 보이는 바와 같이 아래보기의 각도에 따라 변형된다. 여기서 영상 소나의 팬틸트 장치에 의하여 아래보기의 각도는 측정이 가능하며, 소나 영상의 특징으로 물체까지의 거리도 알 수 있다.

본 실험에서는 아래보기 각도에 의해 변화된 물체 모델과 실제 영상에 나타난 인공 표식물을 비교하여 어느 정도 유사한지 검증한다. 그림 9는 계산에 의해 구해진 모델의 형상을 실제 소나 영상 위에 함께 나타내었다. 이는 아래 보기 각도가 커짐에 따라 모델이 타원의 형태로 변형됨을 볼 수 있다. 그 이유는 소나에서 물체를 보는 각도가 커짐에 따라 소나로부터 원의 위와 아래의 거리 차이가 줄어들기 때문이다. 여기서 실제 영상의 크기와 모양이 모델과 매우 유사함을 알 수 있다.

이렇게 구해진 모델을 이용하여 허프-원-검출기를 적용한 결과를 그림 10에서 나타내고 있다. 그림 10의 (a), (b), (c)의 서로 다른 표식에 대하여 추출된 외곽선과 모델의 유사도를 검출하여 가장 오른쪽의 그림에 나

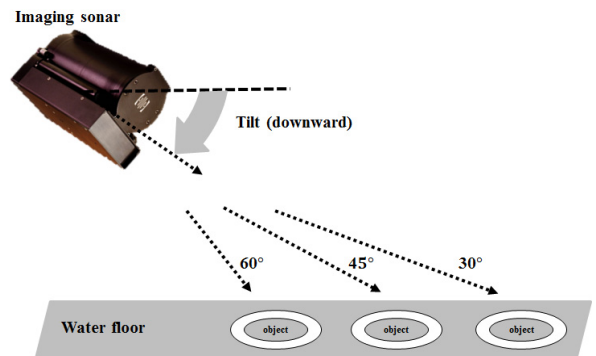


그림 8. 영상 소나의 아래보기 각도 기준  
Fig. 8. Reference of tilt (downward) for imaging sonar.

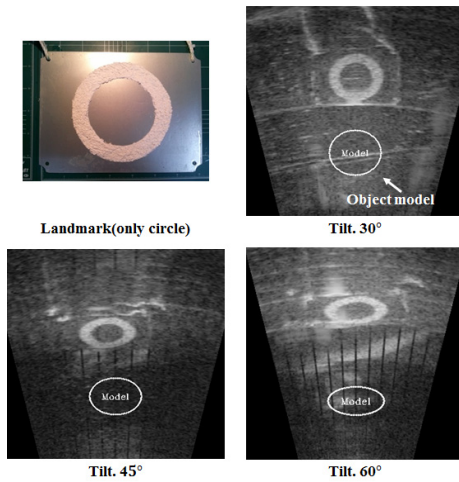
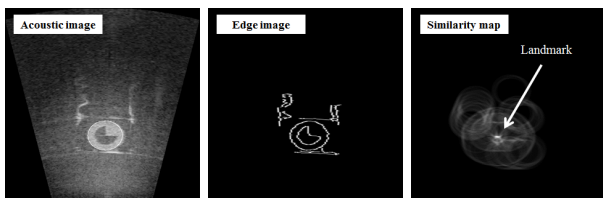
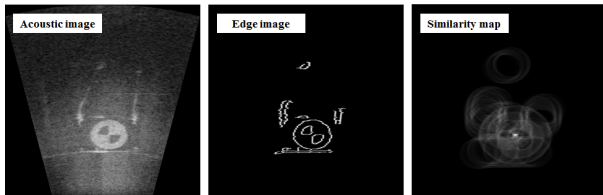


그림 9. 아래보기 각도에 따라 계산된 모델과 영상속의 물체와 비교

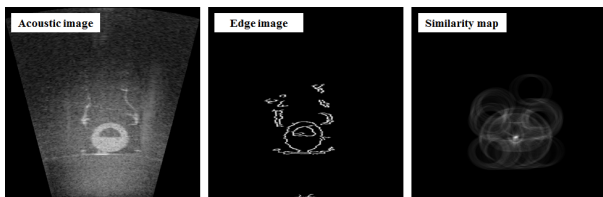
Fig. 9. Comparison object in sonar image with model calculated by tilt angle.



(a) ID.1



(b) ID.2



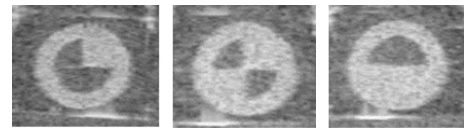
(c) ID.3

그림 10. 허프-원-검출기에 의한 유사도와 위치 결과  
Fig. 10. Results of location and similarity by hough circle transform.

타내었다. 보는 바와 같이 유사도가 있는 지점, 즉 인공 표식의 위치를 밝은 점으로 나타내고 있다.

## 2. 인공 표식물 코드 인식 실험

식별 코드 인식을 위한 검증 실험을 수행하였다. 인식 기법이 적용되기 전 영상 개선을 위해 중간값(median)



(a) ID.1 (b) ID.2 (c) ID.3

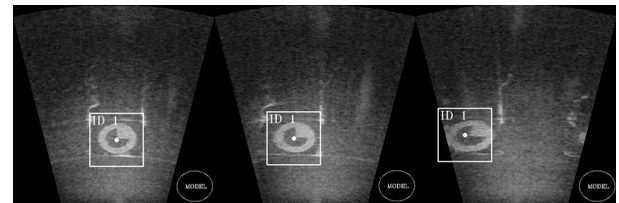
그림 11. 형상 행렬 추출용 표본 영상

Fig. 11. Sample image for shape matrix extraction.

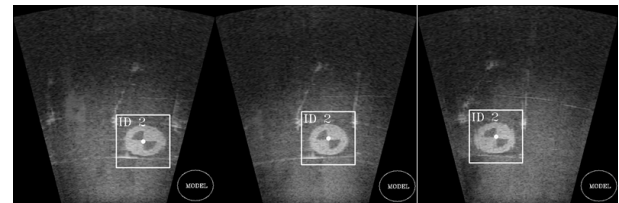
표 1. 인공 표식물의 ID별 유사도

Table 1. Similarity of each landmark.

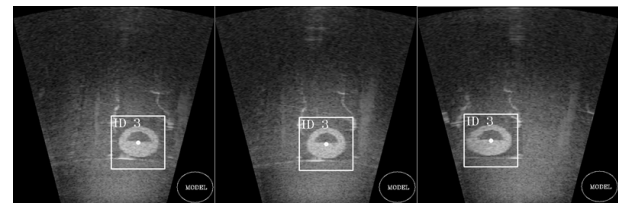
Landmark ID	Similarity		
	ID 1	ID 2	ID 3
1	<b>0.9333</b>	0.7056	0.7944
2	0.5000	<b>0.7500</b>	0.5167
3	0.5722	0.5778	<b>0.8111</b>



(a) ID.1



(b) ID.2



(c) ID.3

그림 12. 움직이는 물체의 인식

Fig. 12. Recognition of Moving objects.

및 양방향(bilateral) 필터 과정이 수행되고, 적응형 임계치(adaptive thresholding) 기법을 사용하여 영상을 이진화 한다. 이진화된 영상에 앞 절에서 언급된 형상 행렬 인식 기법을 적용하여 인식을 수행하였다.

그림 11의 각각의 인공 표식물의 표본 영상을 바탕으로 실제 소나 영상에서의 인식 결과를 표 1에 나타내었다. 여기서 세 개의 인공 표식물 모두 검출된 ID와 실

제 ID가 일치함을 확인할 수 있다. 그러나 유사도 값을 확인하여 보면 ID. 1의 경우 다른 ID와 큰 값으로 차이가 나는 반면, ID. 2와 ID. 3은 다른 ID와 0.05, 0.0167 정도로 근소한 차이를 갖는다. 이러한 이유는 ID를 표현하는 내부 영역의 25%는 모든 인공 표식물이 동일하게 가지고 있으며 나머지 75%에 의해 ID가 분류되어 내부 영역 전체를 ID의 특징 영역으로 사용하지 못하는 것에 기인한다. 또한, 명확한 경계를 갖는 기준 행렬과 달리 실제 소나 영상에서 습득된 검출 행렬은 영상의 잡음으로 인해 오차를 갖게 되고 이로 인해 유사도의 차이가 근소하게 검출 될 수 있다.

움직이는 영상에서 물체의 인식 결과는 그림 12에서 볼 수 있다. 각 인공 표식물은 영상을 기준으로 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하고 있다. 표식물은 약 0.2m/s 정도로 이동되고 매 영상을 기준으로 영상처리 수행시간은 평균적으로 150ms가 소요되었다. 각 영상에 나타난 것과 같이 인공 표식물을 정확하게 식별하고 위치로 정확하게 가리키고 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 수중 영상 소나를 이용한 효과적인 수중 물체 인식과 추종을 위한 방법으로 영상 소나의 성능에 적합한 2차원 인공 표식의 설계 방법과 인식 방법을 제안한다. 특히 일반적인 영상 소나의 특징과 이에 사용되는 초음파의 특성을 분석하고 이에 최적화된 재질과 형태로 인공 표식을 제안하였다. 또한 인식 방법을 설계 단계에서 고려하여 외부의 형태는 원으로, 내부는 영역으로 정보를 표현하도록 하였다. 아울러 외곽선 추출, 허프-원-검출기에 의한 유사도와 위치 판별 방법, 그리고 형상 행렬의 비교에 의한 표식의 인식 방법을 연속적으로 적용하여 실시간으로 표식의 인식이 가능한 알고리즘을 제안하였다. 전체 과정은 성능이 우수한 영상 소나 중에 DIDSON을 사용하여 수조 실험으로 검증하였다.

본 논문에서 제안한 원을 검출 방법과 영역의 형태를 인식하는 방법에 추가하여 보다 잡음에 강인한 방법을 병렬로 적용하는 것을 고려할 수 있다. 또한 수조 환경이 아닌 실제 해양 환경에서는 매우 복잡한 형태의 배경과 잡음이 존재하는 이유로 보다 강인한 방법의 적용이 필요하다고 생각할 수 있다.

#### REFERENCES

- [1] P. Corke, C. Detweiler, M. Dunbabin, M. Hamilton, D. Rus, and I. Vasilescu, "Experiments with underwater robot localization and tracking," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4556-4561, 2007.
- [2] KM. Han, Y. Lee and HT. Choi, "3 phased state recognition method for close distances docking of underwater robots", in Proc. The 7th Korea Robotics Society Annual Conference, gangneong, South korea, Jun 2012.
- [3] A. Negre, C. Pradalier, and M. Dunbabin. "Robust vision-based underwater target identification and homing using self similar landmarks," Journal of Field Robotics, vol. 25, pp.360-377, 2008.
- [4] N. Y. Ko, T. G. Kim, and Y. S. Moon, "Particle Filter Approach for Localization of an Underwater Robot Using Time Difference of Arrival," in Proc. IEEE/MTS Oceans, 2012.
- [5] R. S. McEwen, B. W. Hobson, L. McBride, and J. G. Bellingham, "Docking Control System for a 54-cm-Diameter (21-in) AUV," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol 33, no. 4, Oct 2008.
- [6] J. Y. Park, B. H. Jun, P. M. Lee, F. Y. Lee, and J. H. Oh, "Experiment on Underwater Docking of an Autonomous Underwater Vehicle 'ISIMI' using Optical Terminal Guidance," in Proc. IEEE Oceans Europe, June 2007.
- [7] X. Cufí, G. Rafael, and P. Ridao. "An approach to vision-based station keeping for an unmanned underwater vehicle," in Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 1. pp.799-804, 2002.
- [8] E. O. Belcher, W. H. Hanot and J. Burch, "Dual-Frequency identification Sonar(DIDSON)," in Proc. International Symposium on Underwater Technology, pp.187-192, Tokyo, Japan, April 2002.
- [9] S. L. Maxwell, and N. E. Gove, "The Feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (DIDSON)," Alaska Department of Fish and Game Regional Information Report, March 2004.
- [10] S. C. Yu, A. Akira, S. Weatherwax, B. Collins, and J. K. Yuh, "Development of high-resolution acoustic camera based real-time object recognition system by using autonomous underwater vehicle," in Proc. MTS/IEEE Oceans, Boston, USA, Sep 2006.

- [11] S. C. Yu, "Development of real-time acoustic image recognition system using by autonomous marine vehicle," Journal of ocean engineering, vol. 25, no. 1, pp.90-105, Jan 2008.
- [12] L. N. Brisson, P. P. Beaujean, and S. Negahdaripour, "Multiple-aspect Fixed Range Template Matching for the detection and classification of underwater unexploded ordnance in DIDSON sonar images," in Proc. IEEE Oceans, Sept. 2010.
- [13] J. Y. Kim and K. J. Ahn, "Basic physics and artifact of ultrasound," Journal of clinical otolaryngol, vol. 18, no. 2, pp.135-143, 2007.
- [14] Y. Lee and HT. Choi, "A comparative study on feature extraction methods for environment recognition using underwater acoustic image," in Proc. The 8th Korea Robotics Society Annual Conference, pp.549-552, South Korea, May 2013.
- [15] H. Rhody, "Lecture 10: Hough Circle Transform," Chester F. Carlson Center for Imaging Science, Rochester Institute of Technology, 2005.
- [16] A. Goshtasby, "Description and Discrimination of Planar Shape Using Shape matrices," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-7, no.6, pp.778-743, Nov. 1985.
- [17] Y. Lee, KM. Han and HT. Choi "Design and implementation of artificial landmark for under-water acoustic camera," in Proc. Information and control symposium, pp.215-216, Seoul, South Korea, Sep 2012.

저 자 소 개



이 영 준(정회원)  
2009년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 학사 졸업.  
2014년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 석사 졸업.  
2011년~현재 한국해양과학기술원 연구원.

<주관심분야 : 수중로봇, 영상처리, 위치추정, 영상 소나>



이 지 흥(정회원)  
1983년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.  
1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사.

1994년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 정교수.

<주관심분야 : 로봇틱스, 위치추정, 경로계획>



최 현 택(정회원)-교신저자  
1991년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1993년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2000년 한양대학교 전자공학과(제어 및 로봇틱스)공학박사.

1993년~1995년 KT 연구개발원 S/W 연구소 전임연구원.

2000년~2003년 하와이 주립대학교 기계공학과 Post-Doc.

2003년~현재 한국해양과학기술원 책임연구원.

<주관심분야 : 수중로봇, 해양시스템, 강인제어>