

## 선체 청소로봇 자동화를 위한 광 변위센서 기반의 위치추정 방법

강 훈<sup>1</sup> · 함연재<sup>2</sup> · 오진석<sup>3\*</sup>

### Position estimation method based on the optical displacement sensor for an autonomous hull cleaning robot

Hoon Kang<sup>1</sup> · Youn-jae Ham<sup>2</sup> · Jin-seok Oh<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ultimate Manufacturing Technology Group, Korea Institute of Industrial Technology, Daegu 42994, Korea

<sup>2</sup>Dong-Hyun Systech co.,LTD, Busan 48059, Korea

<sup>3\*</sup>Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 선체 청소로봇의 자동화를 위한 새로운 위치추정 방법을 제안하였으며, 제안한 위치추정 방법을 실제 선체 청소로봇에 적용 가능성을 평가하기 위해 동일한 주행방법을 가지는 소형로봇에 적용하여 위치추정 실험을 수행하였다. 위치추정 실험을 통해 광 변위센서를 사용한 위치추정 방법이 회전 엔코더를 사용한 방법보다 더 정확하게 위치를 추정하는 것을 확인하였으며, 더불어 제안한 위치추정 방법을 통해 로봇 주행방향 또한 기존의 회전 엔코더 방식보다 정확하게 계산되는 것을 확인하였다. 이후의 연구에서 제안한 위치추정 방법에 오차보정을 위한 센서를 추가하여 위치추정 정확도를 보완하고, 이를 실제 선체 청소로봇에 적용하여 사용할 계획이다.

#### ABSTRACT

This paper presents the new position estimation method which contains the optical displacement sensor and the dead reckoning based position estimation algorithm for automation of hull cleaning robot. To evaluate feasibility of the proposed position estimation method on the hull cleaning robot, it was applied on the small scale robot model which has an identical drive method with the hull cleaning robot and then a set of the position estimation experiments were performed. The experimental results of the position estimation demonstrate that the estimated results with the optical displacement sensors is more accurate than used rotary encoder method. In addition, it continuously calculated the robot position quite close to the real robot driving path. In a follow-up study, the proposed position estimation method will be complemented and exploited on the actual hull cleaning robot by adding additional sensor modules that correct measurement errors.

**키워드** : 선체 청소로봇, 위치추정, 광 변위센서, 추측항법, 미끄럼 조향

**Key word** : Hull cleaning robot, position estimation, optical displacement sensor, dead reckoning, skid steering

Received 12 November 2015, Revised 03 December 2015, Accepted 17 December 2015

\* Corresponding Author Jin-seok Oh(E-mail: ojs@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4283)

Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.2.385>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

운용중인 선박의 운항에너지 효율을 절감하기 위한 방법으로는 선체 표면 청소, 프로펠러 청소 및 연마, 선체 코팅개선 등과 같은 방법이 있다[1]. 특히, 선체 청소의 경우 선체 저항을 줄여주기 때문에 선박 운용비 절감과 더불어 프로펠러, 추진 엔진, 추진축 등의 추진체계 과부하를 줄여 간접적으로 선박의 유지보수 비용을 감소시켜주는 효과가 있다. 하지만 대형화된 선체를 청소하기 위해서는 많은 인력이 필요하고, 고소작업에 대한 위험성이 존재하기 때문에 산업용 로봇을 사용한 선체 청소방법이 많이 연구되어 왔으며[2,3], 최근에는 자동으로 로봇이 선체 표면을 주행하면서 청소작업을 수행하는 방법이 연구되고 있다.

선체 청소작업의 자동화를 구현하기 위해서는 로봇이 전체영역 경로계획 알고리즘(coverage path planning algorithm)을 사용하여 정해진 작업영역에 대해 자동으로 청소경로를 생성할 수 있어야 하며[4], 선체 위에서 스스로의 위치를 인식하면서 정해진 경로를 따라 움직일 수 있어야 한다. 특히, 로봇이 선체를 주행하면서 스스로의 위치를 인식하는 기술은 자율주행에서 가장 핵심적인 기술이다. 위치추정 방법은 미리 알려진 위치의 센서들을 기준으로 위치를 추정하는 방법과 로봇 자체에 탑재된 센서들로부터 상대변위를 측정하여 위치를 추정하는 방법으로 분류할 수 있다. 후자의 경우 가장 대표적인 방법은 회전 엔코더(rotary encoder)를 사용하여 차륜(wheel)의 회전수를 측정하여 로봇의 위치를 계산하는 방법이며, 추측항법(dead reckoning)의 한 예이다[4-6].

본 논문에서 대상으로 하는 로봇은 진공압력을 사용하여 선체 표면위에 부착되므로, 수직방향 부착력에 의해 차륜에 마찰력이 발생하여 선체 위를 주행할 수 있다. 하지만 마찰력 약화로 인해 차륜과 선체 표면 사이에 미끄러짐(slippage)이 필연적으로 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 차륜과 선체 표면사시의 미끄러짐에 상관없이 상대변위를 측정할 수 있는 광 변위센서를 사용하여 위치를 추정할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법의 선체 청소로봇 적용가능성을 판단하기 위해 선체 청소로봇과 동일한 주행방법을 가지는 소형로봇으로 실내 위치추정 실험을 수행하였다.

## II. 선체 청소로봇 구조 및 동작

선체 청소로봇은 그림 1-(a)와 같은 구조를 가지고 있으며, 곡면을 주행할 수 있도록 좌측과 우측 프레임(frame)이 관절에 의해 연결되어 있다. 선체 청소로봇은 크게 로봇 프레임(robot frame), 흡착 패드(adhesive pad), 선체 청소장치(hull cleaning tool) 그리고 구동을 위한 서보모터(servo motor)로 구성되어 있다. 로봇은 하부에 설치된 유연한 재질의 흡착 패드 내에 진공압력을 형성하여 선체 벽면에 부착된다.

주행에 있어서는 로봇의 좌측과 우측 차륜이 각각 체인에 의해 연결되어 있기 때문에 단 2대의 서보모터만을 사용하여 주행이 가능하다. 이러한 주행 구조는 좌측과 우측 차륜의 회전속도차를 이용하여 방향을 전환하는 미끄럼 조향(skid steering)을 사용하며[3], 조향을 위한 별도의 장치(차륜 각도변경을 위한 전동기)가 필요 없기 때문에 로봇을 경량화 할 수 있다[7, 8].

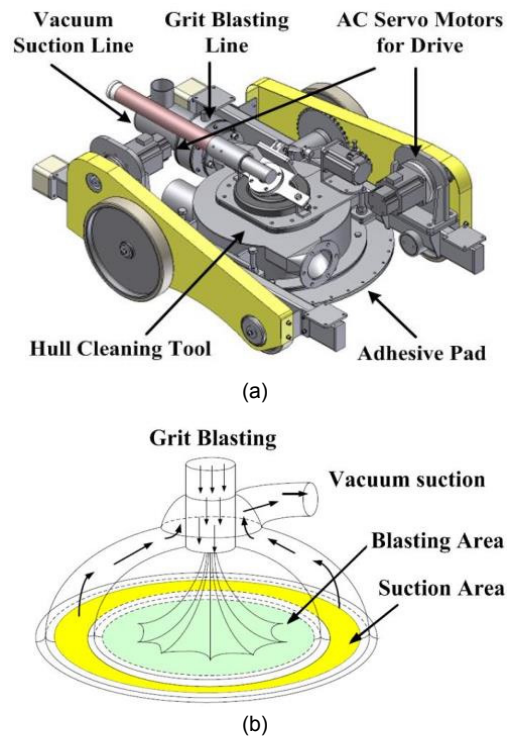


Fig. 1 Structure of the hull cleaning robot and the hull cleaning tool (a) Structure of the hull cleaning robot (b) hull cleaning tool

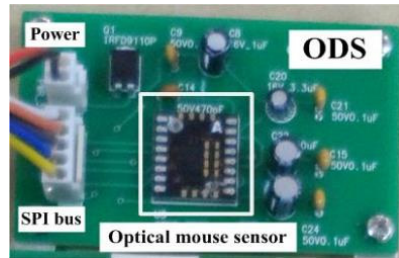
선체 청소를 위한 장치는 그림 1-(b)와 같이 외부에서 공급되는 연마재를 분사하고, 이를 다시 흡착 패드 내부에서 진공압력을 통해 회수할 수 있는 구조를 가지고 있다. 연마재 분사는 특수 노즐(nozzle)에 의해 이루어지며, 선체 표면의 좁은 영역만을 청소하기 때문에 일정한 범위 내에서 왕복운동을 하는 별도의 장치를 적용하여 넓은 영역을 청소할 수 있도록 구성되어 있다. 선체 청소로봇이 주행하면서 벽면을 청소하는 모습은 그림 2와 같다.



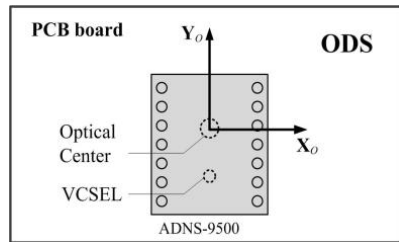
Fig. 2 Photograph of the hull cleaning robot in operation

### III. 광 변위센서

광 변위센서(OVS, Optical Displacement Sensor)는 비접촉방식으로 센서의 관점에서 지면(대상물체)과의 상대적인 움직임을 측정하는 장치이며, 그림 3-(a)와 같이 일반적인 광마우스 센서에 구동을 위한 PCB를 결합한 형태로 구성된다. 광 변위센서로부터 측정된 상대적인 움직임은 그림 3-(b)에 나타난 2축( $X_o, Y_o$ 축) 방향의 변위로 표현된다. 광 변위센서의 핵심부품인 광마우스 센서는 마우스가 구동되는 표면과의 상대적인 움직임을 인식하여 모니터에 포인터의 위치를 결정하는 일종의 위치추정 장치이다. 따라서 본 논문에서는 선체 청소로봇의 위치추정을 위해 광 변위센서에 이러한 광마우스 센서를 적용하여 사용하였다.



(a)



(b)

Fig. 3 Optical displacement sensor module (a) Photograph of the ODS (b) Relative coordinate of the ODS

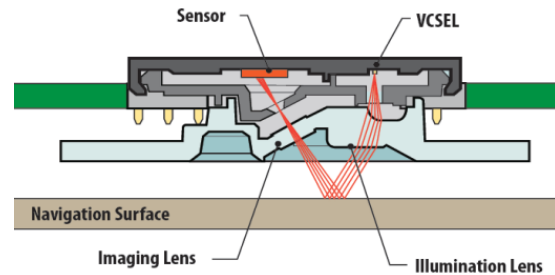


Fig. 4 Structure and principle of an optical mouse sensor (courtesy of Avago Technologies)

일반적인 레이저 기반의 광마우스 센서는 그림 4와 같이 광원, 렌즈 그리고 이미지를 취득하여 주행거리를 계산하기 위한 센서로 구성되어 있으며 센서는 IAS (Image Acquisition System)와 DSP(Digital Signal Processor)를 포함한다. 광마우스 센서의 광원으로부터 생성된 빛은 렌즈를 거쳐 물체의 표면으로 전달되며, 표면에서 반사된 빛은 렌즈를 통해 모아져 센서로 전달된다. 센서에 전달된 빛은 IAS를 통해 촬영되어 연속적인 이미지(image)로 취득되며, DSP의 연산을 통해 연속적으로 취득된 이미지 상의 특징들을 비교하여 대상물체와 광마우스 센서의 상대적인 움직임을 측정한다 [9-12]. 본 논문에서 광 변위센서에 사용한 광마우스 센

서(ADNS-9500)는 832nm-835nm 파장영역의 적외선 레이저를 생성하는 VCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Laser)을 광원(lightning source)으로 사용하며, 최대 11,750fps(frame per second)의 촬영속도로 연속적으로 이미지를 촬영하여 취득할 수 있다. 또한, 측정된 움직임은 최대 5,670cpi(counts per inch)의 해상도(resolution)로 표현 가능하며, SPI(Serial Peripheral Interface)통신을 통해 측정된 데이터를 취득할 수 있다.

덧붙여, 본 논문에서 광 변위센서는 보다 정확하게 이동변위를 측정할 수 있도록 기존의 문헌[13]과 동일한 방식으로 교정(calibration)되어 적용되었다.

#### IV. 위치추정 알고리즘

선체 청소로봇은 대부분 대형선박의 평면부에서 청소작업을 수행하기 때문에 평면상에서 위치를 정확히 추정하는 것이 무엇보다 중요하다. 평면위치를 정확히 추정하기 위해서는 직선방향 움직임과 주행 방향변화를 정확하게 파악해야 한다. 이에 따라 높은 정확도로 이동변위를 측정할 수 있는 주행거리 센서를 사용해야 하며 측정된 이동변위를 기반으로 효과적으로 위치를 계산할 수 있는 위치추정 알고리즘이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 차륜의 미끄러짐에 영향을 받지 않는 광 변위센서로부터 측정된 이동변위를 추측항법에 적용하여 위치를 계산하는 방법을 제안한다.

만약, 비접촉식 광 변위센서가 선체 청소로봇의 회전 중심에 위치하지 않는다면, 단 하나의 광 변위센서를 사용하여 선체 청소로봇의 위치와 방향을 추정하는 것이 가능하다. 하지만 본 논문에서는 오차보정을 위해 2개의 광 변위센서를 사용하였다. 그림 5는 로봇의 위치를 추정하기 위한 기구학 모델을 나타내며, 로봇의 위치는 순간회전중심(ICR, Instantaneous Center of Rotation)을 이용하여 계산된다[14, 15]. 여기서,  $\mathbf{xy}$ 는 평면상의 로봇 위치를 표현하기 위한 절대좌표계(absolute coordinate system)을 의미하며  $\mathbf{X}_i\mathbf{Y}_i, \mathbf{X}_{i+1}\mathbf{Y}_{i+1}$ 는 각각 로봇의 움직임 전·후의 상대좌표계(relative coordinate system)를 의미한다.

선체 청소로봇이  $C_i(x_i, y_i)$  위치에서  $C_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ 로 이동할 때의 움직임은 순간회전중심에 대하여 회전반경  $R_i$ 를 가지고 미소 회전각도( $\delta\theta_i$ ) 만큼 움직이는 것과

동일하므로 로봇의 위치는 식 (1)-식 (3)과 같이 계산될 수 있다. 식 (1)~(3)으로부터 로봇의 위치를 추정하기 위해서는 움직임에 따라 변화하는 순간회전중심에 대한 회전반경과 미소 회전각을 알아야 하며, 이러한 정보는 광 변위센서로부터 측정된 상대변위를 사용하여 계산가능하다.

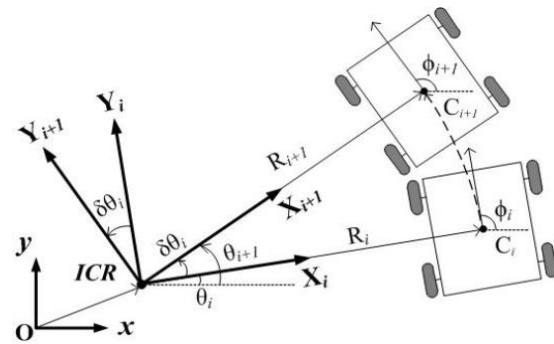


Fig. 5 Kinematic model of the hull cleaning robot for position estimation on the 2-D plane

$$x_{i+1} = x_i - R_i \cos(\theta_i) + R_i \cos(\theta_i) \cos(\delta\theta_i) - R_i \sin(\theta_i) \sin(\delta\theta_i) \quad (1)$$

$$y_{i+1} = y_i - R_i \sin(\theta_i) + R_i \cos(\theta_i) \sin(\delta\theta_i) + R_i \sin(\theta_i) \cos(\delta\theta_i) \quad (2)$$

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \delta\theta_i \quad (3)$$

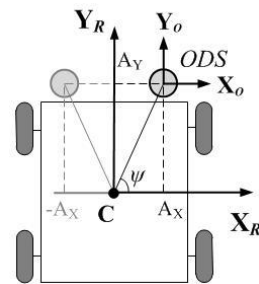


Fig. 6 Relative position of the ODS with respect to the center of the hull cleaning robot

그림 6은 광 변위센서가 선체 청소로봇에 설치된 모습을 나타낸 것이며, 설치위치는 로봇의 회전중심(C)을 기준으로 하는 좌표계( $\mathbf{X}_R\mathbf{Y}_R$ )상의 위치( $A_x, A_y$ )로 표현된다. 광 변위센서가 로봇에 단단히 고정되어 있어서

로봇의 일부로 생각할 수 있다면 광 변위센서로부터 측정된 상대변위는 지면에 대한 선체 청소로봇의 상대적인 움직임이라고 할 수 있다.

광 변위센서는 선체 청소로봇의 회전중심에 위치하지 않으므로, 로봇 방향의 변화량( $\delta\phi_i$ )은 광 변위센서에서 측정된 2축 방향 상대변위( $\delta X_O, \delta Y_O$ )와 광 변위센서의 설치위치를 사용하여 식 (4), (5)와 같이 계산할 수 있다. 이러한 로봇 방향의 변화량은 기구학적 관계에 의해 순간회전중심에 대한 로봇의 미소 회전각도( $\delta\theta_i$ )와 동일하다. 또한, 순간회전중심에 대한 회전반경은 상대변위를 사용하여 식 (6)과 같이 계산될 수 있다. 이러한 방법으로 광 변위센서로 측정된 상대변위를 사용하여 순간회전중심에 대한 회전반경과 미소각도를 연속적으로 계산할 수 있으며, 이를 통해 평면상의 선체 청소로봇 위치와 방향을 추정할 수 있다.

$$\delta\phi_i = \phi_{i+1} - \phi_i = \delta\theta_i = \frac{-\delta X_O \sin(\psi) + \delta Y_O \cos(\psi)}{\sqrt{A_X^2 + A_Y^2}} \quad (4)$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{A_Y}{A_X}\right) \quad (5)$$

$$R_i = -A_X + \frac{\delta Y_O}{2\delta\theta_i} + \frac{\sqrt{\delta Y_O^2 - 4\delta\theta_i \delta X_O \delta Y_O A_Y - 4\delta\theta_i^2 A_Y^2}}{2\delta\theta_i} \quad (6)$$

## V. 위치추정 실험

### 5.1. 위치추정 실험장치 및 방법

제안한 광 변위센서를 사용한 위치추정 방법의 적용 가능성을 판단하기 위하여 선체 청소로봇과 동일한 주행 방법(미끄럼 조향)을 사용하는 소형로봇을 사용하여 실내 위치추정 실험을 수행하였다. 선체 청소로봇과 소형로봇의 크기 및 광 변위센서 설치위치는 그림 6과 같다. 위치추정 실험에서는 평평한 실내에서 소형로봇이 정사각형 경로(1.0m×1.0m)를 주행할 때 광 변위센서를 통해 추정된 경로, 회전 엔코더를 통해 추정경로, 실제 경로와 비교함으로써 제안한 위치추정방법의 적용가능

성을 판단하였다. 소형로봇을 사용한 실내 위치추정 실험에서 정사각형 경로를 선택한 이유는 경로 자체가 단순하고 명확하므로 위치추정 성능을 직관적으로 판단하기 쉽고, 직선경로가 대부분인 실제 선체 청소로봇의 이동경로와 유사하기 때문이다. 위치추정 실험에서 소형로봇은 정사각형 경로를 벗어나지 않도록 가이드를 설치하여 정해진 경로만 주행할 수 있도록 하였다.

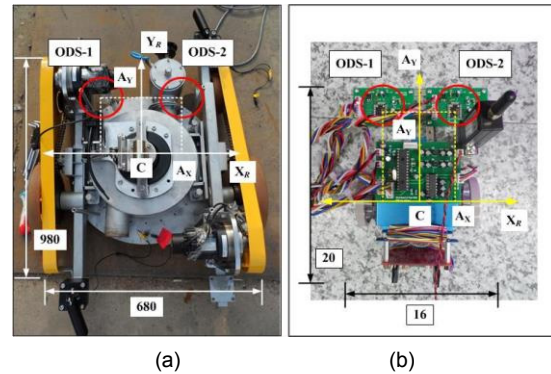


Fig. 7 Comparison of the hull cleaning robot(a) and the small scale robot(b) for the feasibility study of the proposed position estimation method

Table. 1 Experiment conditions for position estimation of the small scale robot

Experiment condition	Description
Starting point	(0.0m, 0.0m)
Starting heading angle	0 [°]
Driving path	1.0m×1.0m square path
Driving speed	50mm/s - 100mm/s
Driving acceleration	Minimize, close to 0 mm/s <sup>2</sup>
Driving method	2-wheel skid steering
Driving surface type	PVC type floor

### 5.2. 위치추정 실험결과

위치추정 실험은 표 1의 실험 조건에 따라 총 5회의 반복실험을 수행하였다. 실험결과는 그림 8에서 그림 13과 같이 대표적으로 두 가지 경우만 그래프로 표현하였다. 그림 8의 첫 번째 실험결과(Case-1)는 광 변위센서를 사용한 위치추정 결과가 실제 이동경로와 매우 유사함을 보여준다. 반면에, 회전 엔코더를 사용한 위치추정 결과는 소형로봇의 실제경로와는 다소 차이가 있음을 보여준다. 더불어, 실험에서 추정된 소형로봇의

최종위치도 광 변위센서를 사용하여 계산한 경우에는 (-0.033m, -0.028m)인 반면에, 회전엔코더를 사용한 경우에는 (-0.154m, -0.147m)로 최종 위치인 (0m,0m)와는 다소 차이가 있었다. 소형로봇의 주행경로와 제안한 위치추정 방법으로 추정된 경로의 정량적인 비교를 위해 본 논문에서는 위치추정 실험결과를 거리오차(error)에 대한 빈도수(frequency) 히스토그램(histogram)으로 나타냈으며, 이는 그림 9와 같다.

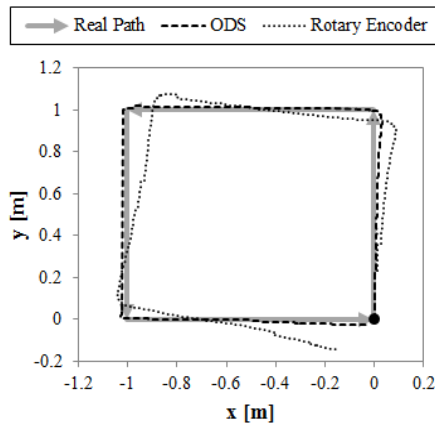


Fig. 8 Experimental result of the position estimation at Case-1

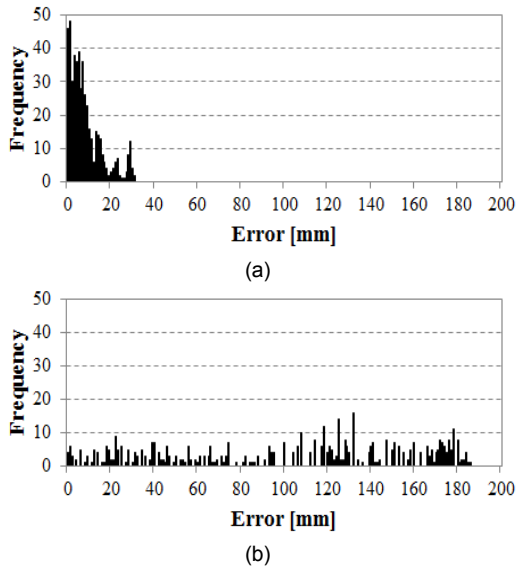


Fig. 9 Histogram of the position estimation error at Case-1 (a) using the ODS (b) using the rotary encoder

그림 9-(a)는 광 변위센서를 사용하여 위치추정을 수행한 경우의 오차분포를 표현한 것으로, 오차가 약 35mm 이내에 대부분 분포하는 것을 알 수 있다. 대조적으로, 그림 9-(b)의 회전 엔코더를 사용한 경우 오차가 약 190mm까지 넓게 분포하고 오차가 큰 영역에서의 빈도수 또한 높게 나타났다. 이는 회전 엔코더보다 광 변위센서를 사용한 위치추정 결과가 더 정확하다는 것을 의미한다. 또한, 위치추정 과정에서 소형로봇의 위치좌표 뿐만 아니라 주행방향(heading angle)도 추정가능하며, 그 결과는 그림 10과 같다. 그림 8에서 알 수 있듯이, 광 변위센서를 사용한 주행방향이 회전 엔코더를 사용한 것보다 더 정확함을 알 수 있다.

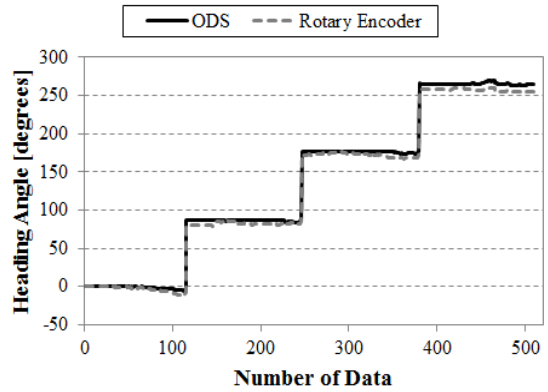


Fig. 10 Estimation result of the heading angle at Case-1

본 논문에서 제안한 위치추정 방법은 추측항법을 사용하므로 위치추정 과정에서 발생한 오차는 점차 축적되어 오차가 증가하게 된다. 그림 8에 나타나듯이 위치추정 과정에서 초기에 발생한 오차(즉, 시작점(0m,0m)에서 (0m,1m)로 이동할 때의 오차)가 점차 축적되어 전체 위치추정 결과가 실제 경로와 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 위치추정 방법과 같이 추측항법을 사용한 위치추정에서는 오차를 최소화 하여 이동변위를 측정하는 것이 무엇보다도 중요하다.

두 번째 위치추정 실험결과는 그림 11과 같으며, 오차에 대한 빈도수 히스토그램과 주행방향 추정결과는 각각 그림 12, 그림 13과 같다. 첫 번째 실험결과와 마찬가지로 두 번째 위치추정 실험에서도 광 변위센서를 사용한 결과가 회전 엔코더를 사용한 결과보다 더 정확하게 실제 이동경로를 추정하는 것을 알 수 있다.

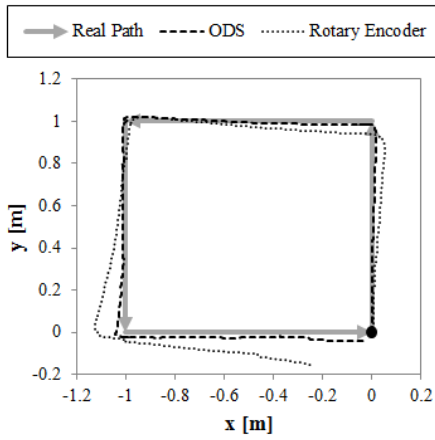
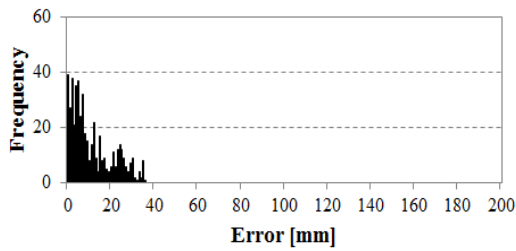
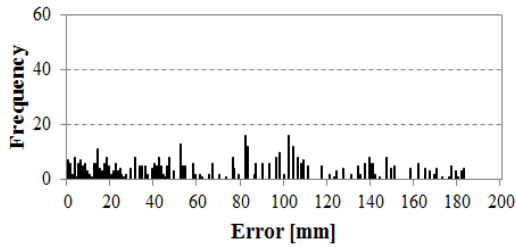


Fig. 11 Experimental result of the position estimation at Case-2



(a)



(b)

Fig. 12 Histogram of the position estimation error at Case-2 (a) using the ODS (b) using the rotary encoder

전체 위치추정 실험결과는 모두 유사하게 나타났으며, 그 결과를 요약하면 표 2와 같다. 소형로봇을 사용한 위치추정 실험결과를 통해 제안한 광 변위센서를 사용한 위치추정 방법이 비교적 정확하게 평면상의 위치를 추정하는 것을 알 수 있었다. 하지만 실제 청소로봇은 소형로봇 실험결과 보다 넓은 범위(수십m)를 주행하므로, 제안한 위치추정 방법만으로는 정확하게 위치를 추정할 수 없다. 따라서 위치추정 중에 오차를 보정해 줄 수 있는 추가적인 방법이 반드시 필요하다.

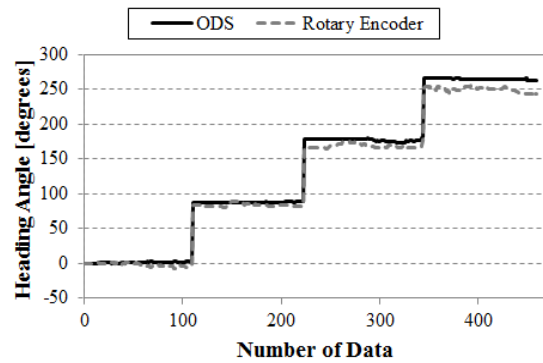


Fig. 13 Estimation result of the heading angle at Case-2

## VI. 결 론

본 논문에서는 선체 청소로봇의 자동화를 구현하기 위한 광 변위센서 기반의 위치추정 방법을 제안하였고, 실제 적용가능성을 알아보기 위해 광 변위센서를 소형로봇에 적용하여 실내 위치추정 실험을 수행하였다. 소형로봇 위치추정 실험을 통해 광 변위센서를 사용한 위치추정 방법이 회전 엔코더 기반의 위치추정보다 더 정확하게 실제경로를 추정하는 것을 확인하였으

Table. 2 Experimental results of the position estimation for the five test cases

Experiment case number	End point coordinate [m]		End heading angle [°]	
	ODS	Rotary encoder	ODS	Rotary encoder
1	(-0.033,-0.028)	(-0.154,-0.147)	263.90	255.00
2	(-0.024,-0.040)	(-0.236,-0.155)	262.80	243.70
3	(-0.100,-0.056)	(-0.368,-0.198)	264.90	247.80
4	(-0.028,-0.031)	(-0.277,-0.162)	263.40	252.10
5	(-0.027,-0.033)	(-0.268,-0.174)	263.10	248.20

며, 비교적 정확하게 평면위치를 추정함을 확인하였다. 하지만, 제안한 위치추정 알고리즘은 추측항법을 사용하므로 연속적인 위치추정 연산과정에서 광 변위 센서에서 측정된 상대변위 오차가 축적되어 주행거리가 길어질수록 점차 오차가 증가하는 단점을 나타냈다. 즉, 이러한 위치추정 방법에서는 오차가 한번이라도 발생하면 이후의 위치추정 결과에 치명적인 영향을 미치기 때문에 정확한 위치추정을 위해서는 전체 위치추정 과정 중에 발생하는 광 변위센서의 측정오차를 최소화해야 한다.

위치추정 과정에서 광 변위센서에 의한 측정오차는 필연적으로 발생하므로, 제안한 위치추정 방법을 보완하기 위해서는 광 변위센서 이외에 추가적인 센서(전자석으로 선박의 용접선 탐지 등)를 적용하여 위치추정 중에 발생하는 오차를 보정해야 한다. 본 논문에서 제안한 위치추정 방법은 이후의 연구에서 추가적인 보완 과정을 거쳐 실제 선체 청소로봇에 직접 설치한 이후에 위치추정 성능을 평가할 예정이며, 개발된 위치추정 알고리즘을 선체 청소로봇 뿐만 아니라 미끄러짐에 영향을 많이 받는 다른 시스템에 적용하여 보다 정확한 위치정보를 얻는데 활용할 계획이다.

## REFERENCES

- [ 1 ] M. Narewski, "HISMAR-Underwater hull inspection and cleaning system as a tool for ship propulsion system performance increase," *Journal of POLISH CIMAC*, vol. 4, no. 2, pp. 227-234, 2009. 04
- [ 2 ] N. Tunawattana, R. Norman, and A. P. Roskilly, "Design of an underwater positioning sensor for crawling ship hull maintenance robots," *Proceedings-Institution of Mechanical Engineers(IMechE), Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 224, no. 2, pp. 115-126, 2010. 04
- [ 3 ] H. Kang, and J. S. Oh, "Development of a drive control system of a hull cleaning robot reflecting operator's convenience," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 4, pp. 391-398, 2013. 05
- [ 4 ] H. Choset, "Coverage for robotics-A survey of recent results," *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, vol. 31, no. 1, pp. 113-126, 2001. 06
- [ 5 ] A. Bonarini, M. Matteucci and M. Restelli, "A kinematic-independent dead-reckoning sensor for indoor mobile robotics," *IEEE RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Sendai(Japan), vol. 4, no.1, pp. 3750-3755, 2004. 09
- [ 6 ] J. Palacin, I. Valganon and R. Pernia, "The optical mouse for indoor mobile robot odometry measurement," *Sensors and Actuators-A Physical*, vol. 126, no. 1, pp. 141-147, 2006. 09
- [ 7 ] A. Mandow, J. L. Martinez, and J. L. Blanco, "Experimental kinematics for wheeled skid-steer mobile robot," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1222-1227, San Diego(USA), 2007. 08
- [ 8 ] K. Kozłowski, and D. Pazderski, "Modeling and control of a 4-wheel skid steering mobile robot," *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 14, no. 4, pp. 477-496, 2004. 04
- [ 9 ] D. Sekimori, and F. Miyazaki, "Precise dead-reckoning for mobile robots using multiple optical mouse sensors," *Proceedings of the International Conference on Informatics in Control Automation and Robotics*, vol. 2, no. 2, pp. 48-54, 2005. 09
- [ 10 ] U. Minoni, and A. Signorini, "Low-cost motion sensors: an experimental characterization," *Sensors and Actuators-A Physical*, vol. 128, no. 2, pp. 402-408, 2006. 01
- [ 11 ] N. Tunawattana, and A. P. Roskilly, "Investigation into the effect of illumination and acceleration on optical mouse sensors as contact-free 2D measurement devices," *Sensors and Actuators-A Physical*, vol. 149, no. 1, pp. 87-92, 2009. 10
- [ 12 ] T. W. Ng, "The optical mouse sensor as a two-dimensional displacement sensor," *Sensors and Actuators-A Physical*, vol. 107, no. 1, pp. 21-25, 2003. 07
- [ 13 ] H. Kang, J. S. Oh, H. S. Lee, S. Y. Jung, and J. Y. Kim, "Calibration of the contact-free optical displacement sensor for accurate 2-dimensional position measurement," *2013 Proceedings of the Korean Society of Marine Engineering*, pp. 376, 2013. 10
- [ 14 ] S. H. Park, and S. Hashimoto, "An intelligent localization algorithm using read time of RFID system," *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 24, No. 4, pp. 490-497, 2010. 05
- [ 15 ] J. Palacin, I. Valganon, and R. Pernia, "The optical mouse for indoor mobile robot odometry measurement," *Sensors and Actuators-A Physical*, vol. 126, no. 1, pp. 141-147, 2006. 09





**강 훈(Hoon Kang)**

한국해양대학교 공학사(기계에너지시스템공학)  
한국해양대학교 공학석사(메카트로닉스공학)  
한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹 연구원  
※ 관심분야 : 메카트로닉스, 구조해석 및 동역학해석



**함연재(Youn-Jae Ham)**

한국해양대학교 공학사(선박기계공학)  
한국해양대학교 공학석사(기관시스템공학)  
한국해양대학교 공학박사 수료(메카트로닉스공학)  
1994년 국방과학연구소 연구원  
2000년 (주)삼성중공업 중앙연구소 선임연구원  
2002년~현재 (주)동현씨스텍 대표  
※ 관심분야 : 메카트로닉스, 산업용 로봇시스템, 수조시험설비



**오진석(Jin-Seok Oh)**

1983년 영국 Zodiac 선박회사 엔지니어  
1989년 국방과학연구소 연구원  
1996년 한국해양대학교(공학박사)  
2009년 일본큐슈대학(공학박사)  
2009년~현재 한국해양대학교 산학연 ETRS센터 소장  
1996년~현재 한국해양대학교 기관공학부 교수  
※ 관심분야 : Ocean Plant, Monitoring&Control System, Communication System