

회전 소나빔을 갖는 초소형 수상로봇의 메커니즘 개발

Development of Mechanism for Micro Surface Robot with Rotating Sonar-Beam

강형주* · 만동우** · 김현식***†

Hyung-Joo Kang, Dong-Woo Man, and Hyun-Sik Kim†

*한국로봇융합연구원, **동명대학교대학원 기계시스템공학과, ***동명대학교 로봇시스템공학과

† Department of Robot System Engineering, Tongmyong University

요 약

최근에는 크기 및 비용의 관점에서 많은 장점을 갖는 초소형 해양로봇(Micro Marine Robot : MMR)의 개발 및 적용에 대한 요구가 증가하고 있다. 하지만 국내에서는 그 기반이 매우 부족한 상황이다. 다행히도 초소형 수상로봇(Micro Surface Robot : MSR)의 장애물회피와 관련해서는 크기와 성능의 관점에서 최적화되어 4방향 탐지가 가능한 장애물회피소나(Obstacle Avoidance Sonar : OAS)가 개발되었으나, 제한된 빔폭(beam width) 및 탐지거리를 갖는 고정 소나빔의 사용으로 인하여 장애물의 형상에 따라 탐지성능이 저하되는 문제점이 존재했다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 평기어(spur gear) 및 서보모터를 활용하여 회전 소나빔을 구현한 MSR의 메커니즘을 제안하였다. 제안된 메커니즘의 검증을 위해 다각 평면 장애물에 대한 MSR의 벽면 추적(wall-tracking) 문제를 고려하였고, 탐지성능 및 구동명령 측면에서 기존의 고정 소나빔 적용 시와 비교 및 분석을 수행하였다. 실험결과를 제안된 메커니즘의 타당성을 보여준다.

키워드 : 초소형 해양로봇, 수상로봇, 메커니즘, 장애물회피소나, 회전 소나빔

Abstract

Recently, the needs for the development and application of the micro marine robot (MMR) which has the advantages in terms of size and cost are increasing. However, the basis is very short in the domestic. While the obstacle avoidance sonar (OAS) which was optimized in terms of size and performance and has the ability of 4-directional detection was developed for the obstacle avoidance of the micro surface robot (MSR) fortunately, the problem that the detection performance is degraded according to the shape of the obstacle because of using the fixed sonar-beam with the limited beam width and detection range exists. To solve this problem, the MSR mechanism that implements the rotating sonar-beam using the spur gear and the servo motor is proposed in this paper. To verify the performance of the proposed mechanism, the wall-tracking of the MSR is considered and the comparison and analysis in term of detection performance and actuation command is performed with conventional fixed sonar-beam. The test results show the validity of the proposed mechanism.

Key Words : Micro Marine Robot, Surface Robot, Mechanism, Obstacle Avoidance Sonar, Rotating Sonar-Beam

1. 서 론

최근에는 탐사, 감시, 정찰 등의 다양한 목적으로 해양로봇(marine robot)에 대한 개발이 요구되고 있으며, 이중 협

력 해양로봇(heterogeneous collaborative marine robot)[1]에 대한 연구도 시작되고 있다. 이중 협력 해양로봇과 관련한 연구의 현실적인 검증 도구로서 협소공간에서의 고기동성, 저렴한 운용비용 등의 관점에서 많은 장점을 갖는 초소형 해양로봇(Micro Marine Robot : MMR)이 바람직하므로 그 개발 및 적용에 대한 요구가 증가하고 있는데, 국내에서는 그 기반이 매우 부족한 상황이다. 해양로봇의 장애물회피와 관련한 기존의 연구[2, 3]를 살펴보면 전방감시소나(Forward Looking Sonar : FLS)에 의한 장애물 정보를 활용한다. FLS는 고 해상도의 장점을 갖는 반면, 그 크기가 크고 에너지 소모가 크다는 단점을 가지고 있다. 이는 공간 및 에너지 측면에서 제한이 많은 MMR에는 적합하지 않다. 그러한 측면에서 OAS(Obstacle Avoidance Sonar : OAS)가 매우 적합하다[4].

초소형 수상로봇(Micro Surface Robot : MSR)의 장애물회피와 관련해서는 크기와 성능의 관점에서 최적화되어 4

접수일자: 2014년 3월 9일

심사(수정)일자: 2014년 4월 1일

게재확정일자 : 2014년 5월 14일

† Corresponding author

본 논문은 본 학회 2014년도 춘계 학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

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.

방향 탐지가 가능한 초소형 OAS가 개발 및 적용[5, 6]이 되었는데, 해당 OAS는 전방, 좌측, 우측, 하부의 4방향 장애물 거리정보를 1개의 센서로 탐지할 수 있으며, 빔폭은 $\pm 15[\text{도}]$ 이고, 최대 탐지거리는 $31[\text{cm}]$ 이다.

그런데, 해당 OAS는 MSR에 매우 적합한 크기와 형상을 보유하고 있지만, 제한된 빔폭 및 탐지거리를 갖는 고정 소나빔의 사용으로 인하여 장애물의 존재에도 불구하고 장애물의 형상에 따라 탐지능력이 저하되는 문제점이 존재했다. 즉, 다각 평면 장애물의 경우에는 입사각 및 반사각의 존재로 탐지가 불가능해져 충돌 위험도가 증가하는 상황이 존재한다. 이 경우에는 몸체 자체를 회전시켜 장애물을 탐색하는 방법을 고려할 수 있지만, 장애물회피의 관점에서 몸체의 회전은 충돌 위험도를 증가시키고, 불필요한 동특성으로 인한 제어 및 탐지 안정성을 저하시킬 수 있다[7]. 따라서, OAS를 회전시켜 장애물을 탐색하는 방법이 요구되며, 공간 및 에너지의 제한성 등을 고려한 메커니즘의 단순화가 요구된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 평기어(spur gear) 및 서보모터를 활용하여 회전 소나빔[4]을 구현한 MSR의 메커니즘을 제안하였다.

회전 소나빔을 갖는 MSR의 메커니즘 설계 및 제작에 대한 설명은 2장에서 기술되어 있고, 제어부 구성은 3장에서 기술되어 있다. 제안된 메커니즘의 검증으로서의 실험 및 결과는 4장에서 기술된다. 결론 및 향후 연구는 5장에서 요약된다.

2. 메커니즘 설계 및 제작

이 장에서는 기존의 MSR[7]을 개선하기 위하여 회전 소나빔을 갖는 MSR의 메커니즘 설계를 주요 내용으로 한다.

본 논문에서 고려된 OAS 및 소나 연동도는 그림 1 및 그림 2와 같다. OAS는 센서 내에 4개 초음파소자, 5선 케이블, 몰딩부를 사용함으로써 방향별 장애물 거리 정보의 채널 신호화가 가능하며, 볼트형 지지부, O-ring, 너트를 사용함으로써 별도의 공구 없이 원형 hole이 있는 임의의 몸체에 센서 탈부착 및 방수가 가능하다. 연동보드는 수동으로 증폭비 및 펄스폭 조절이 가능한 구조를 가지며, 육안으로 제어보드와의 데이터 송수신 상태를 확인할 수 있는 구조를 갖는다[5, 6].

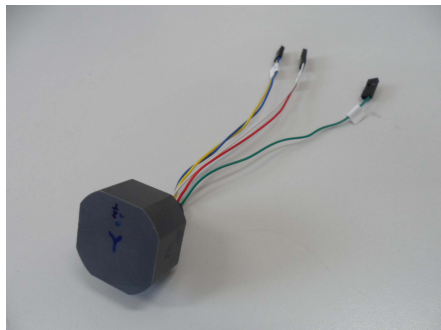


그림 1. 장애물회피소나

Fig. 1. Obstacle avoidance sonar

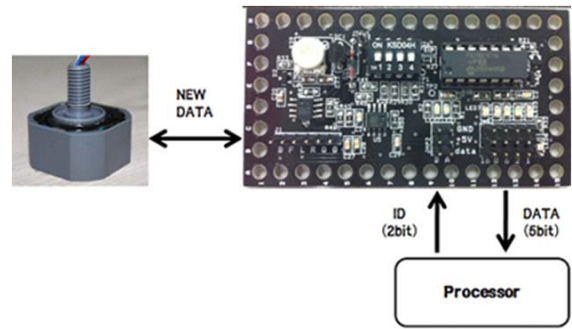


그림 2. 소나 연동도

Fig. 2. Diagram of sonar interface

센서 특성곡선은 그림 3과 같이 매우 선형적이다. 데이터 값 1은 탐지거리 $1[\text{cm}]$ 를 의미하며, 장애물이 OAS의 탐지 영역인 빔폭 $\pm 15[\text{도}]$ 및 탐지거리 $31[\text{cm}]$ 내에 존재하는 정상 탐지의 경우에는 $1 \sim 31$ 의 정수로 표현되지만, 그 외의 비정상 탐지의 경우에는 255로 표현된다.

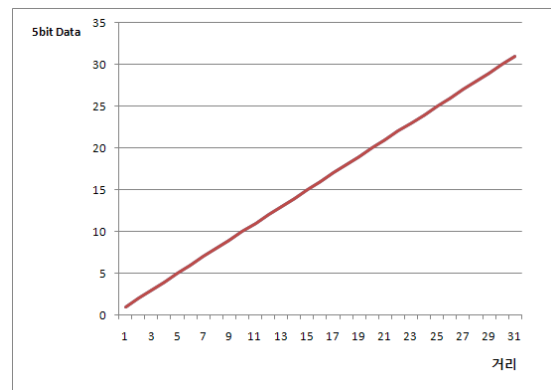


그림 3. 센서 특성곡선

Fig. 3. Characteristic curve of sonar sensor

그런데, 장애물이 정상 탐지영역 내에 존재하더라도 장애물의 형상에 따른 입사각 및 반사각의 존재 또는 외란에 의한 롤(roll), 피치(pitch) 등의 자세 변화로 255가 표현될 수 있다. 본 논문에서는 문제를 단순화하기 위해서 외란의 영향은 무시하고, 다각 평면 장애물의 경우만을 고려하고자 한다. 즉, 입사각 및 반사각의 존재로 탐지가 불가능해져 충돌 위험도가 증가하는 상황을 고려하였다. 이 경우에는 몸체 자체를 회전시켜 장애물을 탐색할 수 있지만, 장애물회피의 관점에서 몸체의 회전은 충돌 위험도를 증가시킬 뿐만 아니라 불필요한 동특성으로 인한 제어 및 탐지 안정성을 저하시킬 수 있다[7]. 따라서, OAS를 회전시켜 장애물을 탐색하는 방법이 요구되며, 공간 및 에너지의 제한성 등을 고려한 메커니즘의 단순화가 요구된다.

OAS의 회전을 통한 전방빔의 회전 모습은 그림 4에 나타내었는데, 전방빔의 중심 Ψ_0 가 왼쪽으로 $\Delta\Psi_L$ 만큼 회전하게 되면, Ψ_0 는 Ψ_{0L} 의 위치에 있게 되고, Ψ_0 가 오른쪽으로 $\Delta\Psi_R$ 만큼 회전하게 되면, Ψ_0 는 Ψ_{0R} 의 위치에 있게 된다. 이때, OAS가 회전을 하게 되면 좌측빔 및 우측빔도 동시에 회전하게 된다.

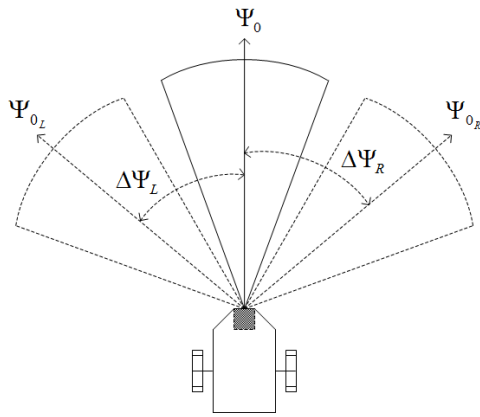


그림 4. 회전 소나빔
Fig. 4. Rotating sonar-beam

제안된 회전 소나빔을 구현하기 위해서는 우선적으로 회전 OAS 부를 설계하였고, 동시에 MSR의 몸체에 회전 가이드 부를 고려하였다. 그림 5는 평기어 및 서보모터를 활용하여 구현한 회전 OAS 부를 나타낸다.

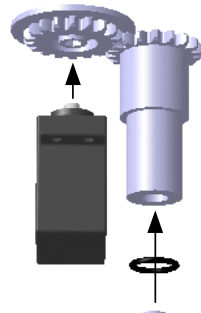


그림 5. 회전 OAS 부
Fig. 5. Rotating OAS part

여기서, 좌측의 평기어는 서보모터와 연결되며, 우측의 평기어는 2단 구조 및 오링(O-ring)을 사용하는 방수개념을 고려한 OAS 부착부와 일체화되어 있다. 추가적으로, 몸체는 회전 OAS 부의 회전을 가이드하는 원통부를 포함하고 있다. 그림 6은 조립이 완료된 회전 소나빔을 갖는 MSR의 설계형상이다. 유지보수성을 높이기 위해 용이한 분해조립 구조를 고려하였고, 공간 및 에너지의 제한성 등의 현실적 제약조건을 반영하여 설계를 하였다.

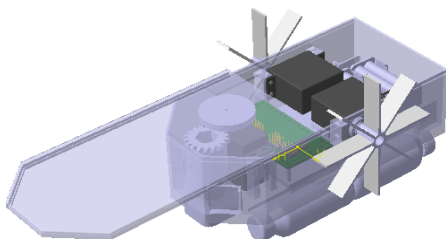


그림 6. 제안된 MSR의 설계
Fig. 6. Design of proposed MSR

MSR 내부의 데이터 연동과 관련해서는 기존 MSR[7] 내부의 데이터 연동에서 그림 7과 같이 Servo Motor를 추가하여 사용하였다.

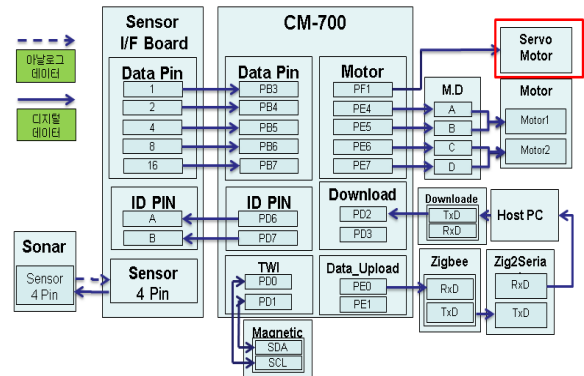


그림 7. 데이터 연동
Fig. 7. Data interface

그림 8은 그림 6을 기반으로 RP(Rapid Prototyping) 장비인 3D 프린터 등을 활용하여 최종적으로 제작된 회전 소나빔을 갖는 MSR의 외형을 나타낸다.



그림 8. 제안된 MSR의 제작
Fig. 8. Manufacturing of proposed MSR

그리고 표 1은 제작된 MSR과 관련된 사양이다.

표 1. MSR의 사양
Table 1. Specification of MSR

| Item | Value |
|------------------------|--------|
| Width [cm] | 10 |
| Length [cm] | 20.6 |
| Height [cm] | 9 |
| Weight(on air) [g] | 691.8 |
| Speed [cm/s] | 0 ~ 15 |
| Operation Time [min] | 0 ~ 90 |
| Rotating range [deg] | ± 40 |
| Rotating Speed [deg/s] | 0 ~ 25 |

위의 과정으로부터 회전 소나빔을 갖는 MSR의 메커니즘의 설계 및 제작이 완료되었다.

3. 제어부 구성

제안된 MSR의 메커니즘 검증을 위한 제어부로서 퍼지 제어기(fuzzy controller), 분배기(distributor), MSR, OAS, 필터(filter) 등을 포함하는 제어시스템 블록선도는 다음의 그림 9와 같다[7].

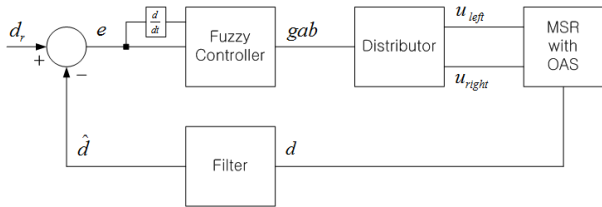


그림 9. 제어시스템 블록선도
Fig. 9. Block diagram of control system

먼저, 필터는 OAS에서 측정된 장애물 탐지거리의 잡음 성분을 필터링 하는 기능을 갖는데, 관련 식은 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{d}(k) = d(k), \quad \text{if } |d(k) - d(k-1)| < d_c \quad (1)$$

$$\hat{d}(k) = d(k-1), \quad \text{otherwise}$$

여기서, $d(k)$ 및 $\hat{d}(k)$ 은 각각 k 번째 스텝의 장애물 탐지 거리 및 그 예측값인 필터링 값이고, d_c 는 필터링 임계값이다. 현재 탐지거리와 이전 탐지거리의 차이의 절대값이 필터링 임계값 보다 크면 이전 탐지거리를 사용하고, 그렇지 않으면 현재 탐지거리를 사용한다.

다음으로, 퍼지제어기는 벽면 추적(wall-tracking)을 위한 제어기로서 벽면과의 거리를 일정하게 유지하는 기능을 갖는데, 관련 식은 다음과 같이 정의된다.

$$e(k) = \hat{d}(k) - d_r \quad (2)$$

$$\dot{e}(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

여기서, $e(k)$ 와 $\dot{e}(k)$ 는 각각 k 번째 스텝의 오차 및 오차 변화율이고, d_r 은 벽면과의 유지거리이다. T 는 OAS의 샘플링 주기이다. 본 연구에서는 우측 벽면 추적을 위해 우측 빔의 정보를 활용한다.

마지막으로, 분배기는 퍼지제어기의 출력인 gab 을 MSR의 좌우 모터에 전달하는 기능을 갖는데, 관련 식은 다음과 같이 정의된다.

$$u_{left} = u_{bias} \quad (3)$$

$$u_{right} = u_{bias} + gab$$

여기서, u_{left} 및 u_{right} 는 각각 좌측 및 우측 모터의 입력값으로서 $[-10,10]$ 이고, 1단위로 구분이 가능하다. u_{bias} 는 일정 속도로 직진하기 위해 정의된 기본 값으로서 좌측 및 우측 모터의 특성이 상이한 이유로 본 연구에서는 각각 6 및 7을 사용하였다.

좌측 및 우측 모터의 입력값은 전압으로 변환되어 모터로 전달되는데, 다음의 표 2는 모터입력 별 전압 비교를 나타낸다.

표 2. 모터입력 별 전압
Table 2. Voltage according to motor input

| Motor Input | Voltage |
|-------------|---------|
| 1 | 0.41 |
| 2 | 0.44 |
| 3 | 0.47 |
| 4 | 0.5 |
| 5 | 0.53 |
| 6 | 0.56 |
| 7 | 0.59 |
| 8 | 0.62 |
| 9 | 0.65 |
| 10 | 0.68 |

위의 과정으로부터 회전 소나빴을 갖는 MSR의 메커니즘의 검증을 위한 제어부 구성이 완료되었다.

4. 실험 및 결과

제안된 메커니즘의 검증을 위해서 본 논문에서는 다각 평면 장애물에 대한 제안된 MSR의 벽면 추적 문제를 고려하였고, 탐지성능 및 구동명령 측면에서 기존의 고정 소나빴 적용 시와 회전 소나빴 적용 시에 대해서 비교 및 분석을 수행하였다.

회전 소나빴을 갖는 MSR의 메커니즘 검증을 위해 자체 제작된 수조[8]에서 시험평가를 진행하였는데, 그림 10은 시험평가 수조의 실제모습을 나타낸다. 여기서 장애물의 크기는 가로는 60[cm]이고 세로는 36[cm]이다.



그림 10. 시험평가 수조
Fig. 10. Water tank for test and evaluation

그림 11의 시험평가 시나리오는 MSR이 직진 이후에 벽면으로부터 약 30[도] 기울어져 있는 경사형 장애물 탐지 및 벽면 추적을 수행하는 것을 나타낸다. 해당 시나리오를 통해 회전 소나빴을 갖는 MSR이 다각 평면 장애물 탐지 및 벽면 추적이 가능함을 확인하고자 한다.

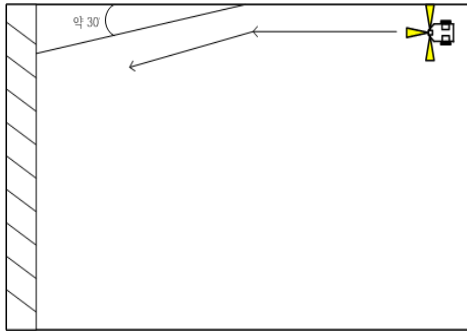


그림 11. 시험평가 시나리오
Fig. 11. Scenario for test and evaluation

그림 12~14는 앞서 언급한 시험평가 시나리오를 기존의 MSR 및 제안된 MSR에 대해서 동일하게 적용하여 비교한 결과들을 나타내는데, 점선은 소나빔을 회전하기 이전인 기존의 MSR을 나타내고, 실선은 소나빔을 회전한 이후인 제안된 MSR을 나타낸다.

그림 12는 우측 소나빔의 탐지 결과로서 제안된 MSR 및 기존의 MSR의 탐지성능을 비교한 것이다. OAS가 정상 탐지 상태인 경우에는 1~31의 값이 표현되지만, 장애물이 31[cm] 이상의 거리에 존재하거나 장애물이 정상 탐지영역 내에 존재하더라도 장애물의 형상에 따른 입사각 및 반사각이 존재하는 경우에는 255의 값이 표현된다. 점선의 경우에는 벽면 추적을 수행하는 도중인 약 11[초] 경에 경사형 장애물을 조우하지만 입사각 및 반사각의 존재로 비정상 탐지 상태가 됨을 나타낸다. 반면에, 실선의 경우에는 벽면 추적을 수행하는 도중인 약 12[초] 경에 경사형 장애물을 조우하게 되고, 약 2[초] 동안 경사형 장애물의 여부를 판단하기 위해 비정상 탐지 상태의 횟수를 누적하는데, 이는 순간적인 자세 변화로 인한 OAS의 비정상 탐지 상태인지, 경사형 장애물을 조우해서 생긴 OAS의 비정상 탐지 상태인지를 판단하게 된다. 그리고 약 14[초] 경부터 약 6[초] 간 회전 OAS 부를 일정한 각도 간격으로 회전을 시켜 전방의 장애물 탐지 여부를 확인하게 된다. 장애물 탐지 여부를 확인한 이후인 약 20[초] 경에 벽면 추적을 계속하여 수행하는 것을 보여준다.

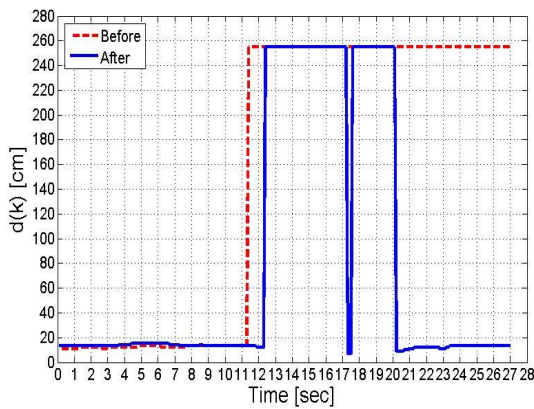


그림 12. 우측 소나빔의 탐지 결과
Fig. 12. Detection results of right sonar-beam

그림 13은 좌측 모터의 입력값으로서, 제안된 MSR 및 기존의 MSR의 좌측 구동명령을 비교한 것이다. 점선의 경우에는 모터 입력값의 변화가 없는데 이는 초기에는 직진을 위한 값을 유지하다가 경사형 장애물이 나타난 이후에도 경사형 장애물을 탐지하지 못하고 계속 직진을 위한 값을 유지하여 충돌하고 있는 것을 보여 준다. 반면에, 실선의 경우에는 약 14~20[초] 사이에서 경사형 장애물의 존재여부를 파악하는 동안에 탐지의 정확성을 높이고 충돌위험을 줄이기 위해서 모터를 정지하고 있음을 보여준다.

그림 14는 우측 모터의 입력값으로서, 제안된 MSR 및 기존의 MSR의 우측 구동명령을 비교한 것이다. 점선의 경우에는 약 1~8[초] 사이에서는 모터 입력값의 변화가 있고 이후에는 변화가 없는데, 이는 약 1~8[초] 사이에서는 벽면 추적을 위해 gab이 변화하여 우측 모터의 입력이 변화하는 것을 보여주고 이후에는 경사형 장애물을 탐지하지 못하고 계속 직진을 위한 값을 유지하여 충돌하고 있는 것을 보여준다. 반면에, 실선의 경우에는 약 14~20[초] 사이에서 경사형 장애물의 위치를 파악하는 동안에 탐지의 정확성을 높이고 충돌위험을 줄이기 위해 모터를 정지하고 있는 경우를 제외하고는 벽면 추적을 위해 gab이 변화하여 우측 모터의 입력이 변화하는 것을 보여준다.

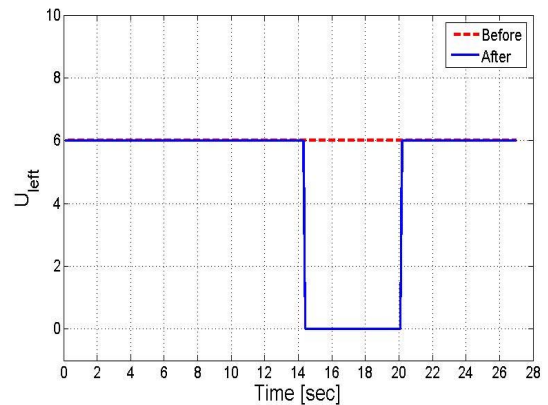


그림 13. 좌측 모터의 입력값
Fig. 13. Input value of left motor

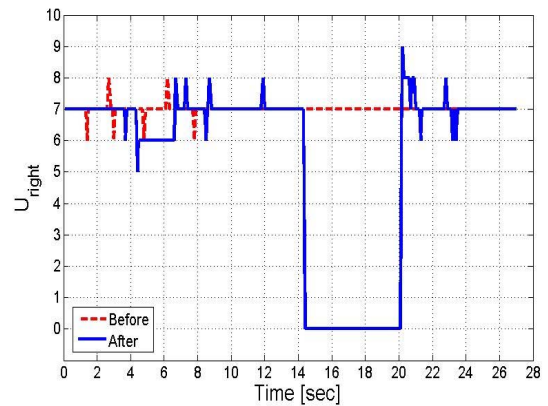


그림 14. 우측 모터의 입력
Fig. 14. Input value of right motor

앞의 실험 결과들은 각각 평면 장애물의 특수한 경우로서 1개의 경사형 장애물만을 고려하고 있지만, 여러개의 경

사형 장애물에 대해서도 쉽게 확장이 가능하다. 즉, 기존의 경우에는 경사형 장애물을 탐지하지 못하지만, 제안된 경우에는 경사형 장애물 탐지 및 벽면 추적이 가능함을 통해 회전 소나빴을 갖는 초소형 수상로봇의 메커니즘이 OAS 기반의 장애물회피에 적합함을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 회전 소나빴을 갖는 MSR의 메커니즘이 제안되었다.

MSR의 메커니즘을 제안하기 위해서 우선적으로 OAS 탐지 데이터의 분석이 이루어 졌으며, 이를 토대로 최적화된 메커니즘이 제안되었다. 제안된 메커니즘은 방수를 고려한 회전 OAS 부 및 몸체의 회전 가이드 부 설계를 주요 내용으로 한다. 메커니즘을 검증하기 위한 실험 결과는 제안된 메커니즘의 타당성을 보여주었다.

추후에는 본 연구를 바탕으로 회전 소나빴을 갖는 MSR에 지능 이론을 적용한 국부경로제어 기법에 관해 연구를 지속할 예정이다.

References

- [1] Hyun-Sik Kim, "Intelligent path planning and following for coordinated control of heterogeneous marine robots", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 6, pp. 831-836, 2010.
- [2] Hyun-Sik Kim, "Intelligent obstacle avoidance algorithm for autonomous control of underwater flight vehicle", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 15, no. 5, pp. 635-640, 2009.
- [3] Hyun-Sik Kim, TaeSeok Jin, and Joono Sur, "Intelligent 3-D obstacle avoidance algorithm for autonomous control of underwater flight vehicle", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 323-328, 2011.
- [4] Hyun-Sik Kim, "Study on local path control method based on beam modeling of obstacle avoidance sonar", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 2, pp.218-224, 2012.
- [5] Hyun-Sik Kim and Seung Soo Park, "Sonar apparatus for micro marine robot", *Korean Patent*, 10-1211416, 2012.
- [6] Hyun-Sik Kim, Hyung-Joo Kang, Youn-Jae Ham and Seung Soo Park, "Development of underwater-type autonomous marine robot-kit", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 3, pp. 312-318, 2012
- [7] Hyung-Joo Kang, "Study on avoidance method of micro surface robot", *Tongmyong University MS Thesis*, 2014.

- [8] Hyun-Sik Kim and Youn-Jae Ham, "Water-tank field apparatus for marine robot competition", *Korean Patent*, 10-1242400, 2013.

저 자 소 개



강형주(Hyung-Joo Kang)

2012년 : 동명대학교 로봇시스템공학과
공학사
2014년 : 동명대학교 기계시스템공학과
공학석사
2014년~현재 : 한국로봇융합연구원
연구원

관심분야 : Artificial Intelligence, Control Theory, Marine Robot

Phone : +82-54-279-0412

E-mail : hjkang@kiro.re.kr



만동우(Dong-Woo Man)

2013년 : 동명대학교 로봇시스템공학과
공학사
2013년~현재 : 동명대학교 기계시스템공
학과 석사과정

관심분야 : Artificial Intelligence, Marine Robot, System Engineering, Collaborative Network Robot

Phone : +82-51-629-3726

E-mail : kamer2019@nate.com



김현식(Hyun-Sik Kim)

1994년 : 부산대학교 전기공학과 공학사
1996년 : 부산대학교 전기공학과 공학석사
2001년 : 부산대학교 전기공학과 공학박사
1998년~2007년 : 국방과학연구소 연구원
2007년~현재 : 동명대학교 로봇시스템공
학과 교수
2010년~현재 : 한국지능시스템학회 이사

관심분야 : Artificial Intelligence, Robotics, Marine Robot, System Engineering, Collaborative Network Robot, Target Processing

Phone : +82-51-629-1565

E-mail : hyunskim@tu.ac.kr