

UUV의 수중 도킹을 위한 전자기파 신호 기반의 위치인식 센서 개발

곽경민¹ · 박대길² · 정완균² · 김진현¹⁺

The Underwater UUV Docking with 3D RF Signal Attenuation based Localization

Kyungmin Kwak¹, Daegil Park², Wan Kyun Chung², and Jinhyun Kim¹⁺

Abstract

In this paper, we developed an underwater localization system for underwater robot docking using the electromagnetic wave attenuation model. Electromagnetic waves are generally known to be impossible to use in water environment. However, according to the conclusions of the previous studies on the attenuation characteristics in underwater, the attenuation pattern is uniform and its model was accurately proposed and verified in 3-dimensional space via the omnidirectional antenna. In this paper, a docking structure and localization sensor system are developed for a widely used cone type docking mechanism. First, we fabricated electromagnetic wave range sensor transmit modules. And a mobile sensor node is equipped with unmanned underwater vehicle(UUV)s. The mobile node senses the four different signal strength (RSS: Received Signal Strength) from fixed nodes, and the obtained RSS data are transformed to each distance information using the 3-Dimensional EM wave attenuation model. Then, the relative localization between the docking area and underwater robot can be achieved according to optimization algorithm. Finally, experimental results show the feasibility of the proposed localization system for the docking induction by comparing the errors in the actual position of the mobile node and the theoretical position through the model.

Keywords: EM waves attenuation pattern, RSS, Underwater robot, Localization, Sensor network

1. 수중 도킹 시스템

수중 자원 이용 필요성의 확대로 수중 환경 개발이 활발히 진행되고 있다. 사람이 접근하기 어려운 수중환경에서는 수중 무인 잠수정 (Unmanned Underwater Vehicle, UUV)을 이용하여 탐사 및 개발이 이루어진다[1]. 수중 무인 잠수정은 사람에 의해 원격으로 조작하는 방식(Remote Operated Vehicle, ROV)과 특정 임무를 부여하면 로봇 자체적인 판단을 통해 움직이는 자율 제어(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)방식으로 나뉘어진다. 자율성이 높은 AUV타입은 무선 방식으로 운용되는 경우가 많아 내장된 배터리 및 정보의 교환 등에 있어 제약을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 배터리 용량을 늘리고 수중에서 전달 특성이 우수한 초음파를 이용한 통신으로 일부 해결이 가능하다. 하지만 배터리의 증가는 중량 증가를 가져오기 때문에 무한히 늘릴 수는 없다. 그리고 초음파를 이용한 통신 역시 유선 방식이나 전자기파 방식 대비 전송속도가 낮기 때문에 한계가 존재한다.

이를 극복하기 위해 수중 로봇 도킹 스테이션에 대한 연구가 진행되고 있다[2]. 수중 로봇 도킹 스테이션은 로봇의 충전, 데이터 전송 등을 수행할 수 있는 중간 기착지 역할을 통해 수중 로봇의 활동 영역과 시간을 늘려준다. 특히 무인 잠수정을 수중환경에서 효율적으로 운용하기 위해서는 주기적인 보급을 위해 부상하는 시간을 최소화 해야 한다. 심해 작업의 경우 로봇의 투입과 부상에 따른 시간적인 손실이 큰 단점으로 작용 하기 때문에 도킹 스테이션을 작업 영역 근처에 배치할 경우 로봇의 부상 및 충전을 수중에서 제공함으로써 운용 효율을 높일 수 있다.

수중 도킹 시스템을 위한 도킹 유도 센서 시스템은 초음

¹ 서울과학기술대학교 기계자동차공학과 (Department of Mechanical and Automotive Engineering, SEOULTECH)
Neuro Robotics LAB., Dasan Hall 209, 232 Gongreng ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

² 포항공과대학교 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, POSTECH)
Korea Institute of Robot and Convergence 410, 39 Zigok ro, Nam-gu, Pohang, Kyungsangbuk do 37666 Korea

⁺Corresponding author: jinhyun@seoultech.ac.kr

(Received: May. 15, 2017, Revised: May. 23, 2017, Accepted: May. 25, 2017)

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.



A. USBL based Dock station B. Vision based Dock station

Fig. 1. UUV Docking bed with "Cone" type access port [4,5]

파를 이용한 USBL (Ultra Short Base Line) 기법 [4], 광학 마커를 카메라로 인식하는 기법 [5,6], 자기장을 이용한 기법 [7], 전자기파의 신호 감쇠를 이용한 기법 [8] 등이 개발되어 있다. USBL을 이용한 기법은 REMUS AUV에 실제 적용된 방법으로 초음파를 이용하여 거리를 검출하고 로봇을 유도하지만 다중 경로 현상으로 인해 근거리에서는 정밀 유도가 어려운 단점이 있다. 따라서 최종 접근에 있어서는 Fig. 1과 같은 콘(Cone) 형상 가이드를 이용한다. 광학 및 자기장 기반의 방식도 매질의 탁도, 환경에 따른 자기장 왜곡 현상 등을 극복하기 위해 Cone 형상 가이드를 사용한다. Cone은 로봇이 근거리에서 정확히 도킹할 수 있도록 도움을 주지만, 물리적인 접촉을 통한 도킹이 이루어지기 때문에 외부 선체에 손상을 줄 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 로봇의 정확한 위치 인식이 필요하다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 수중에서 가장 널리 쓰이고 있는 초음파 기반의 위치 인식 시스템은 근거리에서는 사용이 어렵다. 이를 보완하기 위한 방법으로 전자기파를 이용한 근거리 위치 인식에 대한 연구 [9]가 진행되었고, 이 연구의 거리 추정 기법을 사용하여 전자기파를 이용한 근거리 도킹 유도에 대한 연구가 진행된 바 있다 [8]. 전자기파는 초음파 대비 감쇠가 큰 이유로 원거리 전달은 어렵지만 근거리에서 정밀도가 높은 장점이 있다 [9]. 하지만 거리 추정 모델을 이용한 결과는 깊이 변화에 따른 신호 감쇠를 정확하게 나타낼 수 없기 때문에 위치 인식 오차가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 수중 로봇의 근거리 도킹 유도를 위해 3차원 신호 감쇠 패턴 모델과 노드 배치 방법의 변화를 통해 Cone형 도킹을 위한 위치 인식 센서 및 시스템을 개발하였다. 전자기파의 x, y, z축 방향에 따른 전방향성 안테나의 3차원 감쇠 패턴 모델을 이용하여 거리 측정이 가능한 센서를 제작하였고, 다수의 거리 측정을 위한 센서를 수중 도킹에 적합한 위치에 배치하였다. 그리고 로봇 역할을 하는 모바일 노드에 수신 센서를 장착하여 얻어진 위치 데이터로 도킹 유도에 필요한 위치 인식 실험을 진행하였다. 이론 모델에 의한 결과와 실제 위치가 표기된 실험 장치의 위치를 비교 분석함으로써 Cone형 도킹을 위한 유도 기법으로 사용 가능성 검증을 진행하였다.

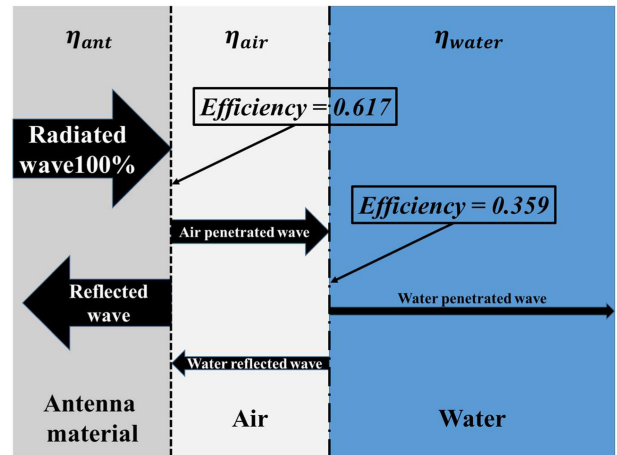


Fig. 2. Principle of Received Signal Strength (RSS)

2. 도킹 유도를 위한 센서 및 시스템

2.1 도킹 유도를 위한 근거리 위치 인식 기법

전자기파를 이용한 근거리 위치 인식에는 신호 감쇠 데이터를 이용하여 거리를 추정하는 모델이 필요하다. 수중 환경에서 전자기파의 신호 감쇠는 매질에 따른 영향과 안테나의 특성에 따른 영향으로 나뉘어진다. Fig. 2와 같이 파장으로 이루어진 송신된 신호가 매질 및 안테나의 특성에 따라 일정하게 감쇠하여 포착된 신호의 세기를 나타낸다. 거리에 따른 신호 감쇠 (Received Signal Strength RSS) 획득 방법을 통해 초음파와 달리 신호의 이동거리가 편도이므로, 동일한 신호 세기 대비 2배의 수신 범위를 가질 수 있다 [9].

2.2. RF 3차원 방사 패턴 모델

기존 거리에 따른 전자기파 신호 감쇠를 이용한 위치 추정법 [9]를 통해 Cone형 도킹 유도를 진행 하였으나, 거리에 따른 신호 감쇠 데이터만으로는 오차가 있는 것을 확인하였다 [8]. 실제 수중 3 차원 환경에서의 도킹 유도를 위한 위치 인식 센서 및 시스템의 개발을 위해서는 3차원 위치 정보를 획득할 수 있는 모델이 요구된다. 이를 해결하기 위해 전방향성 안테나의 3차원 방사 패턴 기반 신호 감쇠 모델을 사용한다 [10, 11]. 전방향성 안테나의 3차원 방사 패턴은 Fig. 3과 같이 수평면에서는 일정하지만 수직면에서는 도넛형 형상을 가진다. 따라서 개별 고정 노드로부터 얻어진 3차원 방사 패턴에 따른 RSS 데이터를 최적화하여 3차원 위치를 얻어낼 수 있다. 3차원 방사 패턴 신호 감쇠 데이터를 얻기 위해 Fig. 5의 전방향성 안테나의 감쇠 모델 Eq. (1) 이 제안된 바 있다 [10, 11]. Eq. (1)은 안테나의 반전력범폭과 이득을 이용하여 안테나의 위치 별 신호 감쇠를 나타낸다. 각 고정 노드에서 나온 RSS를 Eq. (1)에 적용하여 x, y, z

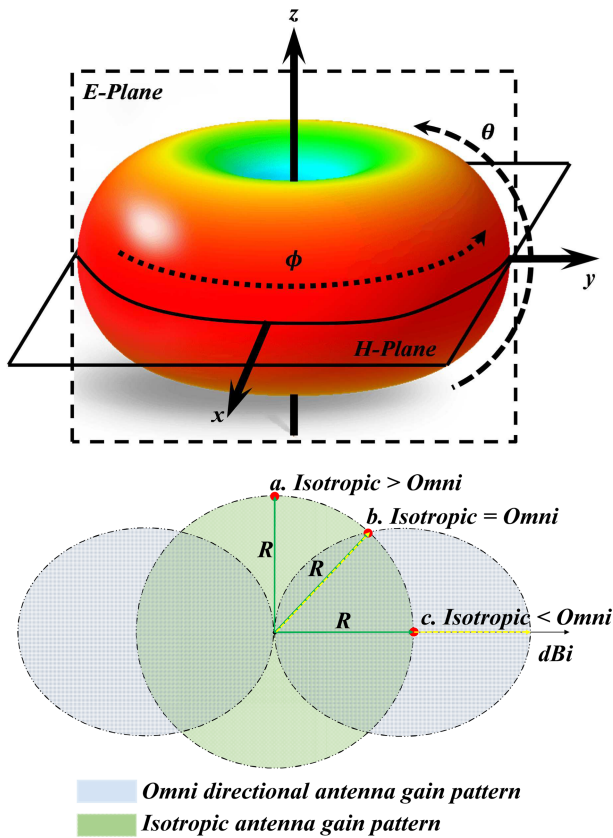


Fig. 3. Omni-directional antenna pattern [10,11]

위치에 대한 방정식을 유도할 수 있다.

$$\frac{P_R}{P_T} = e \times F(R)_{L.M.} \times F(R)_{E.R.} \times F(\phi)_P \times F(\theta, \theta)_{E.I.}$$

L.M.: Lossy Medium

E.R.: EM wave Radiation

E.I.: Elevation and Inclination angle

P.: Polarization

e: Antenna Efficiency

2.3 도킹 유도를 위한 센서 모듈 배치

I장에서 소개된 Cone 타입 도킹은 로봇을 수평방향으로 유도할 수 있는 위치인식 센서 및 시스템이 필요하다. 이를 위해 Eq. (1)의 감쇠 패턴이 가장 적합하게 사용될 수 있도록 총 4개의 송신 노드 센서를 Fig. 4과 같이 구성하였다. 또한 Fig. 3에서 신호가 가장 멀리 도달할 수 있는 수평면에 대한 RSS를 사용하였고, 위치 인식에 따른 직교 좌표 해석 용이성을 고려하여 배치하였다. 실험은 로봇의 위치에 따른 실제 위치와 모델을 통해 얻어진 예측 위치와의 차이를 분석하는 기법을 사용하였다.

Fig. 4는 도킹 스테이션을 모사화한 그림으로 적색 원은 모바일 노드, 녹색 원은 고정 노드를 의미하며 고정 노드는 너비

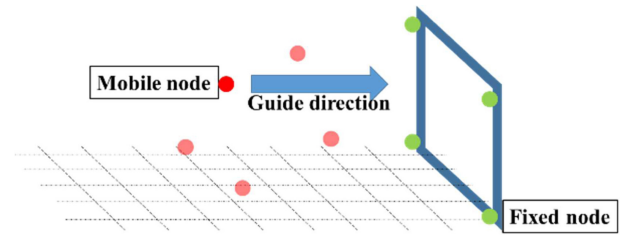


Fig. 4. Docking method for EM wave Localization

2.5 m, 깊이 0.7 m 의 프레임의 각 귀퉁이에 고정된 상태로 모바일 노드에 전자기파 신호를 송신한다. 그리고 모든 고정 노드에서 유사한 RSS를 수신함으로써 Fig. 3의 사각형 중심으로 로봇을 유도하게 된다.

3. 위치 인식 실험 및 결과 분석

3.1 센서 개발 및 실험기구 설정

Cone 형 도킹 유도 위치 인식을 위해 4개의 전자기파 송신용 고정 노드와 1개의 수신용 모바일 노드를 사용하였다. 고정 노드는 3dBi를 갖는 상업용 전방향성 안테나 433 MHz 를 사용하고 모바일 노드 역시 동일한 사양의 안테나를 사용한다. 고정 노드에서는 Radiometrix사의 USX2 모듈 (Fig. 5(a))을 통해 100 mW 세기의 신호를 방사하고, 채널 설정을 통해 노드 별 주파수를 달리하여 송신한다. 그리고 모바일 노드에서는 NI사의 5660 백터신호분석기 (Fig. 5 (b))를 연결하여 각 채널 별 수신된 전자기파의 세기를 검출한다.

Fig. 6는 Fig. 4를 실제 실험 장치로 구성한 형태로서 총 4개의 고정 노드에서 방사된 신호를 모바일 노드에서 수신하여 위치를 인식하게 된다. 시스템 환경은 너비 2.5 m, 깊이 0.7m로 설정하였다. 이는 400 MHz 대역의 -95 dB 수신 범위가 약 2.8 m 정도이므로, 수신 반경 내의 거리인 2.5m의 수조 너비를 설정하고 실험을 진행하였다. 또한 깊이는 533 mm의 어뢰형 ROV의 도킹을 기준으로 전후 최소 50 mm 이상의 마진을 두기 위해 0.7m로 설정 하였다. 각 위치에서 수신된 4개의 고정 노드로부터의 RSS를 Eq. (1)에 적용하여 4개의 감쇠 모델을 얻고 이를 최적화하는 방법으로 최종 위치를 얻는다.

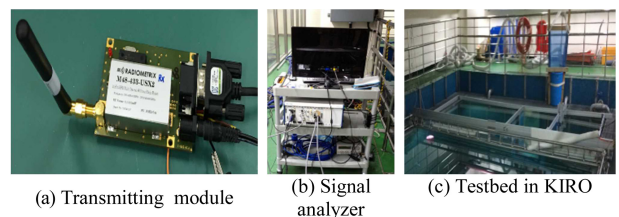
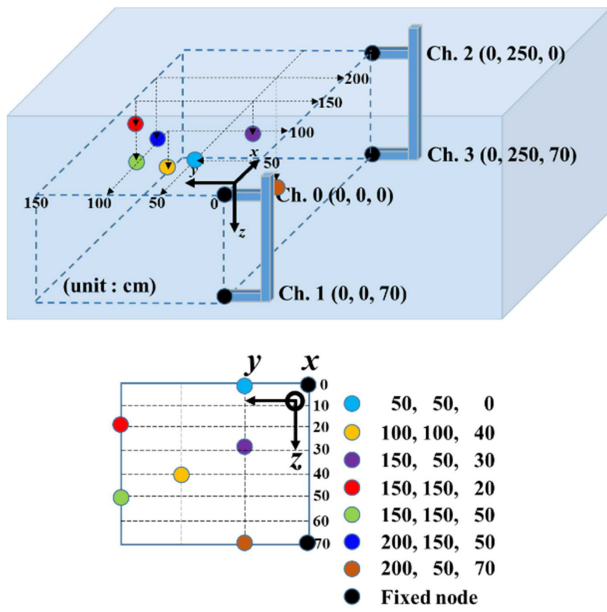


Fig. 5. System Environment



Bottom view

Fig. 6. Experiment set for Docking with EM wave Localization

3.2 실험 결과 및 분석

Fig. 6의 노드 배치에 따라 얻어진 결과는 Fig. 7, Table 1과 같다. 이는 기존 전자기와 거리 추정 기반[9]만을 사용한 결과와, 본 논문에서 제안된 3차원 방사 패턴 기반 위치 인식 결과와의 차이를 보여준다. Fig. 7의 결과는 Fig. 6에 나타난 특정 위치에서 로봇의 거리추정기반 기법, 3차원 감쇠모델 기법을 이용한 위치 인식을 진행하여 새로 제안된 기법의 차이점을 확인

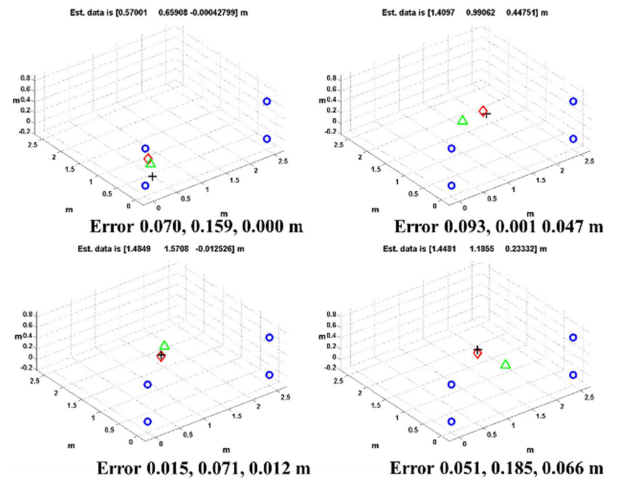


Fig. 7. Experiment result

한다. 십자가는 실제 위치, 삼각형은 기존 거리 추정을 이용한 방법, 마름모는 3차원 감쇠 모델[10,11]을 이용한 방법을 나타낸다. 이 결과는 거리 추정만을 사용한 방법 대비 3차원 감쇠 패턴을 이용한 결과가 실제 위치와 더욱 근접한 것을 확인할 수 있다. 그리고 위치 인식 결과는 약간의 차이가 있지만 대부분의 위치에서 20 cm 이내의 오차를 보여준다. 기존 거리 추정 기반 위치인식 기법은 깊이 축에 대한 보정 요소가 없기 때문에 오차가 크게 발생한다. 하지만 3차원 모델 기반 위치 인식 기법은 Eq. (1)에서와 같이 깊이 방향을 고려한 모델로, 깊이 방향 요소가 포함되어 최종 결과를 표현하기에 보다 적은 오차를 보인다. 하지만 위치각의 크기에 따른 부분에 있어서는 다소 오차 발생 가능성은 있다. 실험에서 고정 노드로부터 멀리 떨어질수록 위치각이 줄어들어 오차가 줄어들 것을 예상하였지만, 실제

Table 1. Experiment result

Real Pos.(cm)	Model data (dBm) Node	Exp. Data (dBm) Node	Error (dB)	Mean error (dB)	Estimated Position (cm)	x, y, z Location Difference (cm)	Error (cm)
	0, 1, 2, 3	0, 1, 2, 3					
50, 50, 0	-26.8868	-28.5656	-1.6788	16.5150	57.1	7	17.3
	-128.0872	-80.1738	47.9135		65.1	15.9	
	-60.5559	-57.0401	3.5158		0.0	0	
	-72.4945	-85.4465	-12.9520				
150, 100, 40	-56.7080	-63.0089	-6.3008	4.5852	140.9	9.3	13.3
	-53.4473	-57.1746	-3.7274		99.1	0.1	
	-61.6942	-67.3657	-5.6715		44.7	0.47	
	-59.5845	-62.2256	-2.6411				
150, 150, 0	-56.0109	-60.2957	-4.2848	5.1561	148.5	1.5	7.3
	-58.6818	-63.3337	-4.6519		157.1	7.1	
	-49.5089	-54.2055	-4.6966		1.2,	1.2	
	-54.4442	-61.4354	-6.9912				
150, 100, 30	-63.7352	-63.3896	0.3456	3.4145	144.8	5.1	20.3
	-68.4381	-74.4253	-5.9872		118.5	18.5	
	-58.0521	-58.1330	-0.0809		23.3	6.6	
	-64.3479	-71.5922	-7.2442				

실험결과에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 상위 고정 노드와 하위 고정 노드에서 얻어진 RSS 데이터에 대한 가중치가 없었기 때문으로 예상된다. 하지만 가중치를 주기 위해서는 알려진 위치에 대한 깊이 혹은 거리 데이터가 요구되는데 실험 환경에서는 다른 센서의 보정을 받지 않고 RSS만을 이용하여 얻은 결과이기에 실제 자가항법센서 (Inertia Navigation System, INS)의 도움을 받을 수 있다면 보다 좋은 결과를 가질 수 있을 것이라고 예상된다. 향후 로봇을 이용하여 실험할 수 있다면 INS데이터를 이용하여 더욱 정밀한 유도가 가능할 것이라고 생각한다.

4. 결 론

본 논문에서 UUV의 도킹을 위해 전자기파의 감쇠를 이용한 3차원 감쇠패턴 모델 기반 위치 인식 기법을 활용하였다. 위치 인식 기법을 도킹 시스템에 적용하기 위해 도킹 스테이션에 적합한 근거리용 전자기파 센서를 제작하였고, Cone형 도킹 시스템에 적합한 센서 배치를 가지는 시스템을 제작하였다. 그리고 도킹 유도 시스템과 유사한 환경에서 모바일 노드의 위치인식 실험을 진행하였다. 실험 결과 깊이 요소까지 반영된 새로운 위치 인식 기법으로 약 20cm 이내의 위치 인식 오차를 가지는 도킹 유도 환경을 구축할 수 있었다. 현존하는 상용 수중 도킹 시스템은 대부분 근거리까지 초음파를 이용하고 최종적으로는 물리적인 접촉을 이용한다. 그러나 본 논문의 실험 결과를 통해 비 접촉식 Cone형 도킹 유도 시스템의 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 로봇의 INS의 정보를 이용하여 동적인 환경에서도 로봇의 정밀한 도킹 유도가 가능한 전자기파 위치 인식 기법을 개발하고자 한다.

감사의 글

This research was a part of the project titled "Development of small drag bio-mimetic underwater robots" funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea, and supported by grant No. 10060065 from the Industrial Source Technology Development Programs of the MOTIE (Ministry Of Trade, Industry and Energy), Korea.

REFERENCES

- [1] L. Paull, S. Saeedi, M. Seto, and H. Li, "AUV navigation and localization: A review," *IEEE J. Ocean. Eng.*, Vol. 39, No. 1, pp. 131-149, Jan. 2014.
- [2] R. Stopforth; S. Holtzhausen; G. Bright; N S Tlale; C M Kumile, "Robots for Search and Rescue Purposes in Urban and Underwater Environments - a survey and comparison" proc. of 15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, 2008
- [3] Underwater robot images in google images "Netherlands underwater constructions robot"
- [4] B. Allen, T. Austin, N. Forrester, R. Goldsborough, A.Kukulya, G. Packard, M. Purcell, and R. Stokey, "Autonomous docking demonstrations with enhanced REMUS technology," proc. of IEEE Oceans 2006, pp.1-6, Sep. 2006.
- [5] J. Y. Park, B. H. Jun, P. M. Lee, and J. H. Oh, "Experiments on vision guided docking of an autonomous underwater vehicle using one camera," *IEEE J. Ocean. Eng.*, Vol. 36, No. 1, pp. 48-61, Jan. 2009.
- [6] A. Negre, C. Pradalier, and M. Dunbabin, "Robust vision-based underwater homing using self-similar landmarks," *J. Field Robot.*, Vol. 25, No. 6-7, pp. 360-377, 2008.
- [7] M. D. Feezor, F. Yates Sorrell, P. R. Blankinship, and J. G. Bellingham, "Autonomous underwater vehicle homing/docking via electromagnetic guidance," *IEEE J. Ocean. Eng.*, Vol. 26, No. 4, pp. 515-521, Oct. 2001.
- [8] G. Lee; J. Kim "Docking System for Unmanned Underwater Vehicle using Reduced Signal Strength Indicator" *J. of ICROS*, Vol. 18, No. 9, pp.830-836, 2012.
- [9] D. Park ; K. Kwak ; W. K. Chung and J. Kim "Development of underwater distance sensor using EM wave attenuation" proc. on 2013 ICRA, pp.5125-5130, Karlsruhe Germany 2013.
- [10] K. Kwak; D. Park; W. K. Chung; J. Kim "Underwater 3-D Spatial Attenuation Characteristics of Electromagnetic Waves with Omnidirectional Antenna" *IEEE-ASME Trans. Mechatron.*, Vol. 21, No. 3, pp. 1409-1419.
- [11] K. Kwak; D. Park; W. K. Chung; J. Kim Correction to "Underwater 3-D Spatial Attenuation Characteristics of Electromagnetic Waves with Omnidirectional Antenna" *IEEE-ASME Trans. Mechatron.*, Vol. 21, No. 6, pp. 2997-2998.