

# 지능 수중 로봇 연구 활성화와 기술 교류 국외 사례 - 국제 수중 로봇 대회 참관기

김동훈·김덕용·이도현·명 현 (KAIST)

## I. 서론

최근 들어 위험하고 접근하기 힘든 극한 환경에서의 탐사 또는 임무 수행을 위한 자율 로봇들이 개발되고 있다. 그 대표적인 예로, 무인항공기인 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)와 자율이동차량인 Autonomous Ground Vehicle (AGV), 자율수중로봇인 Autonomous Under-water Vehicle (AUV)가 있다. 특히, AUV는 해양 환경에 대한 관심의 증대로 해양 자원 탐사 및 환경 감시 등의 용도에서부터 군사적 목적으로까지 다양한 분야에서 주목을 받고 있다.

그러나 수중 환경은 지상이나 공중과는 달리 자율운항을 하기에 문제가 많다. 먼저 수중에서는 RF 기반 무선 통신이 되지 않아 통신 및 GPS 사용이 어렵고, 내비게이션에 있어서 로봇의 움직임을 측정하거나 주변의 지형을 이용한 위치 파악이 어렵다. 물의 탁도나 산란 등의 노이즈가 심해 카메라를 이용한 영상 처리도 쉽지 않다. 기술적인 문제로, 수압에 따른 방수 문제나 수중의 복잡하고 비선형적인 동역학에 의한 AUV 움직임을 해석에 어려움이 있다. 그래서 기술 발전 속도가 UAV나 AGV에 비해 느리고, 연구 사례가 많지 않다. 이러한 문제점 때문에 수중 로봇의 기술 교류를 활성화하고, 수중 로봇 분야의 연구 인력 양성을 위해 다양한 수중 로봇 대회가 전 세계적으로 열리고 있다. 그 중 지난해 일본과 미국에서 개최된 두 대회에 대해서 소개하고자 한다.

## II. 일본 대회

### 1. 대회 소개

지난 2010년 3월 14일부터 이틀 동안 일본 수중 로보콘 추

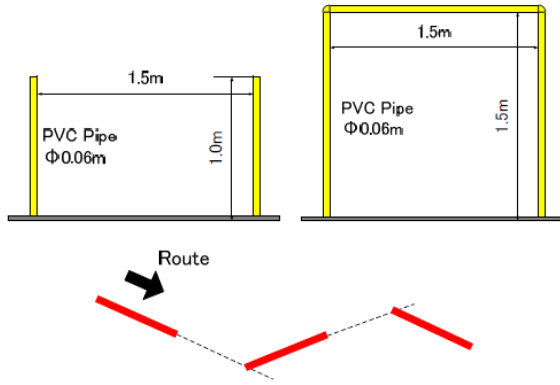
진회의와 일본 선박 해양 공학회, IEEE/OES(Oceanic Engineering Society) 일본 지부에서 공동 주최한 2010 Underwater Robot Convention이 일본 가나가와현 요코스카 시의 일본 해양 개발 기구(JAMSTEC)에서 개최되었다.

이 대회의 목적은 팀들 간의 수중 로봇 기술 교류의 장을 마련하고, 네트워크를 형성하여 수중 로봇 기술을 함께 공유하여 개발하자는 것이다. 그리고 이 교류의 일환으로 수중로봇 기술 발표와 미션 수행을 통한 시연이 이틀에 걸쳐 진행되었다. 대회에는 총 12개 팀이 참가하였는데, 주로 일본 내의 대학이나 연구소의 수중 로봇 팀들이 참가하였고, 한국과 대만에서도 참가하였다. 첫날 13일 오후에는 먼저 수조에서 각 팀별 로봇 정비와 미션에 따른 기술 시연 준비 시간이 주어졌고, 저녁에는 각 팀별로 10분 동안의 로봇 소개와 로봇에 구현된 기술에 대한 발표가 있었다. 둘째 날에는 기술 시연이 있었는데, 각 팀마다 15분씩 오전 10시부터 오후 4시까지 진행되었다.

### 2. 규정 및 미션

대회 규정에서 수중 로봇의 형태는 제한이 없어, AUV 또는 Remotely Operated Vehicle (ROV), Bio-mimetic Robot 등의 다양한 로봇 형태가 가능하였다. 그리고 그 크기와 무게에는 제한이 없고 가벼울 경우 보너스 점수가 있었다. 기술 데모가 진행되는 곳은 총 900m<sup>2</sup> 면적의 건물에 있는 21m × 21m의 넓이에, 1.3m와 3.0m의 수심을 가진 수조로 다양한 미션을 수행하기에 충분했고, 수영장 주변에 로봇 정비 및 데모 준비를 할 수 있는 공간이 있었다.

기술 시연에서의 미션은 <그림 1>과 같이 (i) 게이트(Gate), (ii) 라인 추적(Line tracking)과 (iii) 부이 접촉(Buoy touch),



〈그림 1〉 기술 데모를 위한 미션

(iv) 랜딩 (Landing)의 4가지로 구성되어 있었다. 게이트는 〈그림 1〉과 같은 4개의 게이트를 통과하는 미션이고, 라인 추적은 〈그림 1〉의 아래 그림과 같이 빨간색의 방향 지시선 또는 연속적인 직선과 곡선으로 이루어진 라인을 찾아 따라가는 미션이었다. 그리고 부이 접촉은 수영장 바닥에서 1~2m에 있는 주황색의 구를 찾고 따라가서 부딪히는 미션이고, 랜딩은 수영장 바닥에 설치된 1m × 2m의 빨간색 영역에 착지하는 미션이었다. 그래서 전방과 하방을 향하는 카메라를 이용한 물체의 탐색과 추종 알고리즘 및 AUV의 요(yaw)와 서지(surge), 스웨이(sway), 히브(heave) 제어 능력이 요구되었다.

대회 규정상 각 팀은 대회 신청 시에 미션 중에서 로봇에 맞는 미션을 선택할 수 있고, 기술 데모 시에는 선택한 미션만 수행하여 데모 점수가 평가된다. 평가는 (i) 로봇의 무게 (총 30점, 40kg 이하는 만점), (ii) 기술 발표 (총 30점), (iii) 기술 데모 (총 40점)로 총 100점으로 이루어졌다. 그리고 최종 점수에서 상위 3개 팀에 시상을 하였다.

### 3. KAURO 팀

KAIST의 KAURO (KAIST Underwater Robot) 팀이 한국에서는 단독 출전하였다. KAURO는 KAIST의 바이오 및 뇌공학과의 이도현 교수 연구실(BISL)과 건설 및 환경 공학과의 명현 교수 연구실(URL)이 공동으로 개발한 UAV로 당시 출전한 로봇은 〈그림 2〉에서 보는 바와 같다.

KAURO 시작품은 두 개의 방수 내압 용기와 4개의 쓰러스터(thruster), 그리고 그것을 지탱하는 프레임으로 구성되어 사이즈는 0.52m × 0.62m × 0.25m, 무게는 35kg 이다. 로봇 내압 용기에는 영상 처리 알고리즘을 수행하고, 미션 수행을 위한 경로 계획을 하는 Single Board Computer(SBC)와 쓰러스터를 제어하고 센서 값을 받아 SBC에 전달하는 DSP가 내장되어 있고, 30분 이상 구동할 수 있는 배터리가 탑재되어 있다. 그리고 로봇의 절대 자세



〈그림 2〉 KAURO 시작품

(roll, pitch, yaw)를 측정할 수 있는 IMU와 수심을 측정할 수 있는 깊이 센서, 전, 하방에 두 대의 카메라가 장착되어 있고, 4개의 쓰러스터가 yaw, pitch, surge, heave의 운동을 제어하도록 장착되어 있다.

### 4. 결 과

대회에 참가한 팀의 로봇들을 살펴보면, 12팀 중 9팀이 토피도(torpedo) 형태의 로봇이었고, 상위 두 팀이 모두 이 형태의 로봇으로 KAURO와 같이 4자유도 운동이 가능하고 전, 하방 카메라, IMU, 깊이 센서와 장애물 감지를 위한 소나(sonar) 센서를 장착하여, 4가지 미션 중 2가지 이상의 미션을 수행하였다. 다른 팀들 중 한 팀은 물에서 이동하는 뱀을 모방한 로봇으로 출전하였는데, 12개의 모듈이 연결된 형태의 로봇으로 기술 점수와 데모 점수가 높아 3위를 차지하였고, KAURO 팀은 라인 추적 미션을 수행하여 4위를 차지하였다. 2009년 국제 AUV 대회에 참가하여 9위를 하고, 최우수 논문상을 수상한 큐슈공대 팀에 관심이 집중 됐으나, 통신 문제가 발생하여 준비한 미션을 모두 수행하지 못하여 5위에 머물렀다. 그 외의 팀으로는 한국인 일본 유학생의 팀으로 쓰러스터를 사용하는 다른 팀과는 달리 10 방향의 워터 젯(water jet) 분사를 이용한 추진력을 가진 로봇으로 출전하였으나, 방수에 문제가 생겨 기술 데모에서 좋은 점수를 받지 못하여 10위에 그쳤다.

이 대회는 수중로봇의 기술 교류에 초점이 맞추어진 대회였다. 기술 발표 시간에는 자유로운 분위기에서 각 팀의 기술을 발표하고 질문하는 시간이 있었고, 이틀 동안의 숙식을 제공하면서 함께 식사를 하고 밤에는 기숙사 로비에 모여 같이 화합할 수 있는 시간을 마련하는 등 주최 측의 노력을 볼 수 있었다. 대회 개최 및 결과는 [1]에서 볼 수 있다.

### Ⅲ. 미국대회

#### 1. 대회 소개

지난 2010년 7월 13일부터 6일간의 일정으로 AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) 와 미국 ONR (Office of Naval Research)에서 공동 주최한 International RoboSub Competition이 미국 캘리포니아주 샌 디에고의 미 해군연구소인 SSC Pacific TRANSDEC에서 개최되었다. 그리고 AUV 제작에 필요한 소프트웨어와 하드웨어의 제작 업체인 SOLIDWORKS와 Tecnydyne, Seabotix, Teledyne impulse 등의 협찬을 받아 참가하는 팀은 할인된 가격으로 해당 제품을 구매할 수 있다.

이 대회의 목적은 학생들에게 실제와 같은 미션을 수행할 수 있는 AUV를 개발하고 대회에 참여해서 경연할 수 있는 기회를 제공함으로써 젊은 공학자를 육성하고 AUV의 기술을 개발하는 것이다. 그래서 이 대회에서는 출전 팀과 팀의 로봇을 소개하는 웹페이지, 기술 소개 논문, 기술 완성도, 단체복 등의 항목들과 미션수행능력을 평가한다.

1998년 대회가 시작된 이래로 그 규모가 증가해 2000년대 후반부터는 매년 20개 이상의 팀이 출전하고 있다. 13회째 개최된 2010년 대회는 총 22개 팀이 참가하여 6일간의 경기 일정을 치렀다. 주로 미국의 대학에서 참가하였으며, 한국, 캐나다, 아일랜드, 중국, 일본 등에서도 출전을 하였다.

#### 2. 규정 및 미션

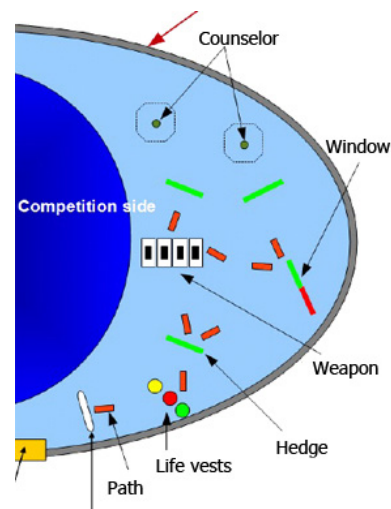
대회에 앞서 각 팀이 제작한 AUV를 소개하는 웹페이지와 논문을 제출해야 하고, 대회에서는 수중 미션 수행 이외에 심사위원들 앞에서 다시 한번 팀과 AUV를 소개하는 발표를 해야 한다. 6일간의 일정은 팀 등록과 오리엔테이션, 이를 동안의 연습 시간, 두 번의 예선과 결선으로 진행되었다. 연습 시간 동안 각 팀들은 대회가 진행되는 수영장에서 미션 수행을 위한 영상 처리 및 이동성 테스트를 하며 본 경연을 준비하고, 예선에서 3가지 이상의 미션을 제대로 수행한 팀에 대해서는 결선 진출의 기회가 주어졌다. 마지막 날에는 결선에 진출하지 못한 팀에게 다시 한 번 기회가 주어지며, 이때 미션을 가장 잘 수행한 한 팀에게 second chance 상이 주어졌다. 그리고 바로 결선이 진행되었는데, 이 모든 과정이 인터넷 방송을 통해 생중계되었고, 상위 3개 팀이 수상하였다.

규정을 살펴보면, 로봇은 AUV이어야 하며, 50kg을 넘지 않아야 한다. 그리고 38kg 이상에는 패널티가, 그 이하에는 보너스 점수가 주어졌다. 점수는 제출한 자료와 발표, 심사 점수와 미션 수행 점수의 총합으로 매겨졌다. 대회가 열린

TRANSDEC의 반경 15m 이상의 수조에는 <그림 3>과 같이 수심 약 6m의 영역에 미션 수행을 위한 다양한 기구물들이 배치되어 있었다. 참가 팀들은 수조 주변에 마련된 부스에서 대회 준비를 할 수 있었다. 본 경연에서는 팀당 20분의 시간이 주어지는데, 5분 내로 출발하지 못하면 실격 처리되고, 미션 수행 능력은 잠수부와 잠수부가 찍은 영상을 바탕으로 평가되며, 미션 수행이 잘못될 경우에는 팀의 요청에 따라 다시 처음부터 시작할 수 있다.

대회에서 수행해야 하는 미션은 총 6가지로 구성되어 있다. 먼저 수면에서 일정 깊이 이하로 통과해야 하는 밸리데이션 게이트(Validation gate), 3가지 색깔의 구 중, 심사위원이 정해진 구에 부딪히는 라이프 베스트(Life vest), 위가 열린 녹색 사각형 프레임을 통과하는 헤지(Hedge), 바닥에 있는 특정 문양의 영역에 마커를 떨어트리는 웨폰(Weapon), 4가지 다른 색의 사각형 공간에 토피도를 써서 통과시키는 윈도우(Window), 수중에서 들리는 음향을 따라가 바닥에 있는 사람 모양의 구조물을 들어 올려 정해진 영역으로 상승한 후 구조물을 다시 떨어뜨리는 카운슬러(Counselor)가 있다. 각 미션들은 그 난이도에 따라 배점이 다르며, 각 미션들 사이에는 미션이 있는 위치를 알려주는 빨간색 패스 마커(path marker)가 있어서 미션의 시작과 종료를 알 수 있다. 모든 미션을 완벽히 수행할 경우 12,000점 이상을 획득할 수 있다. 그리고 각 미션의 위치 및 구조물의 크기, 제작에 사용된 제품 등은 대회전에 모두 공지가 된다. 자세한 사항은 [2]에서 확인할 수 있다.

이러한 미션 수행을 위해서 AUV는 yaw, pitch와 surge, sway, heave의 5자유도 이상의 제어 능력이 필요하고, 미션마다 수심이 모두 다르기 때문에, 수심을 측정할 수 있는 센서, 미션 구조물을 인식할 수 있는 전방과 하방의 카메라, 수중 음향을 탐지할 수 있는 수중 하이드로폰(hydrophone), 추



<그림 3> 수조 및 미션 배치도

가적으로, 넓은 지역에서 이동하며 미션을 수행해야 하기 때문에 궤적을 측정할 수 있는 Doppler Velocity Logger (DVL) 등이 요구된다. 그리고 웨펀 미션을 위해 마커를 떨어트릴 수 있는 드로퍼 (dropper) 장치와, 윈도우 미션을 위해 토피도를 쏠 수 있는 장치, 카운슬러 미션을 위해 철제 프레임을 들어 올릴 수 있는 그래버 (grabber) 장치가 필요하다.

### 3. KAURO 팀

이 대회에서도 KAIST의 KAURO 팀이 한국에서는 유일하게 출전하였다. 미국 대회에서는 시작품에서 발전시킨 KAURO v2를 제작하여 출전하였는데, <그림 4>에서 보는 바와 같다. KAURO v2는 이전의 두 개의 내압 용기에서 문제가 된 방수 케이블을 이용한 통신 문제를 해결하기 위해 하나의 큰 내압 용기로 변경하였고, 거북이의 형상을 따른 거북이 등의 커버와 4개의 발, 머리, 꼬리가 추가되었다. 다른 스펙은 시작품과 거의 유사하며, 쓰러스터가 2개 추가되어 롤(roll) 제어가 가능해졌다. 그리고 미션 수행을 위해 마커를 떨어트릴 수 있는 드로퍼 장치가 로봇의 아래쪽에 장착되었고, 머리 부분에 적외선 센서를 장착하여 머리를 떨 경우 로봇이 비상 정지하도록 하였다.



<그림 4> KAURO v2

### 4. 결 과

대회의 우승은 2009년에 이어 미국 코넬 대학 (Cornell University) 팀이 차지하였고, US Navy Academy, 매릴랜드 대학 (University of Maryland) 팀이 그 뒤를 이었다. 상위권을 차지한 팀들 대부분 Surge, Sway, Heave, Yaw, Pitch의 5자유도 이상 제어 능력과 2대의 카메라, IMU, 깊이 센서, 하이드로폰 등의 센서를 모두 장착하고, 모든 미션을 수행할 수 있도록 드로퍼와 그래버, 토피도 장치를 장착하였다. 그리고 고가의 DVL을 장착하고 있어 로봇의 움직임을 측정하여 미션 수행이 탁월했다. 일본 대회에 함께 출전했던 큐슈

공대 팀은 극적으로 3가지 미션을 성공하여 7위를 차지하였다. KAURO팀은 4가지의 미션을 준비하였으나, 여러 가지 경험 부족과 방열이 어려운 하드웨어의 결함으로 15위를 차지하였다.

대회의 마지막 일정으로 디너 파티와 함께 시상식이 진행되었는데, 전 세계에서 모인 학생들이 함께 먹고 이야기하면서 서로의 로봇과 기술을 공유할 수 있는 시간이 있었다. 많은 팀들이 학기 중에 바쁜 시간을 내어 대회 준비를 하였고, 수중 장비 업체로부터 많은 지원을 받아 준비하였음을 알 수 있었다.



<그림 5> 대회 준비 부스의 KAURO 팀

## IV. 마치며

일본 대회의 경우 로봇의 경연보다는 기술 교류에 초점을 둔 반면, 미국 대회의 경우 팀의 단합과 로봇의 미션 수행 능력에 초점을 두었다. 그러나 두 대회 모두 대회 참가라는 기회 제공을 통해 수중 로봇 분야의 인재 양성 및 기술 발전을 목표로 하고 있다. 그래서 특히 미국 대회의 경우 학부생으로 이루어진 팀이 많이 참가하였고, 상위권 팀 대부분 학부생으로 이루어진 팀이라는 점에서 대회의 목적대로 운영이 잘 되고 있었다. 우리나라에서도 많은 팀들이 참가해서 외국의 팀들과 함께 기술을 공유하며 발전해 갔으면 하는 바람이 있지만, 그 제작비용이 많이 들고 센서나 쓰러스터와 같은 부품을 지원할 만한 업체가 거의 없어 많은 팀의 참가가 어려운 실정이다.

올해에는 일본 대회의 경우 대지진으로 열리지 않았는데, 내년부터는 다시 대회가 열리길 기대한다. 미국 대회는 같은 장소에서 7월 12일부터 6일간 개최될 예정이고, 지난해 상위권 팀을 포함해 31팀이 참가할 예정이다. 지난 대회의 참가팀들이 얼마나 기술적 향상이 있었는지 기대된다. 대회 일정과 생중계 정보, 참가팀들의 자세한 정보는 [3]에서 확인할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] IEEE Oceanic Engineering Society Newsletter, April 2010, [http://www.oceanicengineering.org/docs/oceans\\_newsletter\\_Spring2010.pdf](http://www.oceanicengineering.org/docs/oceans_newsletter_Spring2010.pdf)
- [ 2 ] AUVSI, Official Rules and Mission, [http://www.auvsifoundation.org/AUVSI/FOUNDATION/UploadedImages/AUV\\_Mission\\_Final\\_2010.pdf](http://www.auvsifoundation.org/AUVSI/FOUNDATION/UploadedImages/AUV_Mission_Final_2010.pdf), 2010.
- [ 3 ] RoboSub competition/AUVSI foundation <http://www.auvsifoundation.org/AUVSI/FOUNDATION/Competitions/RoboSub>



김 동 훈

2009년 9월~현재 KAIST 로봇공학학제전공 석사과정 재학  
 2005년 3월~2009년 2월 서울시립대학교 전자전기컴퓨터  
 공학부 학사  
 <관심분야> 수중 로봇, 수중 영상처리



김 덕 용

2002년 3월~2009년 2월 고려대학교 제어계측공학 학사  
 2009년 2월~2011년 2월 KAIST 로봇공학학제전공 석사  
 2011년 2월~현재 KAIST 로봇공학학제전공 박사과정 재학  
 2006년 8월~2009년 2월 (주)엔투스 개발팀  
 2007년 8월~2010년 12월 삼성전자 소프트웨어멤버십  
 <관심분야> 기계학습, 의료정보학, 수중로봇



이 도 현

1986년 03월~1990년 2월 KAIST 컴퓨터공학 학사  
 1990년 03월~1992년 2월 KAIST 전산학 석사  
 1992년 03월~1995년 8월 KAIST 전산학 박사  
 2002년 4월~현재 KAIST 바이오및뇌공학과 교수  
 2010년 1월~2010년 12월 미국 스탠포드대학교 객원교수  
 <관심분야> 바이오정보학, 인공지능



명 현

1992년 2월 KAIST 전자전산학 학사  
 1994년 2월 KAIST 전기 및 전자공학 석사  
 1998년 8월 KAIST 전기 및 전자공학 박사  
 1998년 9월~2002년 2월 한국전자통신연구원(ETRI) 선임  
 연구원  
 2002년 2월~2003년 6월 (주)이머시스 연구소장/기술이사  
 2003년 7월~2008년 2월 삼성전자종합기술원 전문연구원  
 2008년 3월~현재 KAIST 건설 및 환경공학과 교수  
 <관심분야> 로봇 네비게이션, 건설로봇, 수중/수상 로봇,  
 소프트웨어컴퓨팅