



THEME 04

생체모방 수중로봇

류 영 선 | 한국생산기술연구원 수중로봇개발단 단장 | e-mail : ysryuh@kitech.re.kr

최근 육상자원의 한계로 해양 자원에 대한 관심이 높아짐에 따라 수중에서 자유자재로 운용할 수 있는 수중로봇의 경제적 가치가 부각되고 있으며, 특히 기술적 한계를 극복하기 위해 물고기나 수중생물을 모사한 생체모방형 수중로봇에 대한 연구가 활발해지고 있어 이를 소개하고자 한다.

일반적으로 널리 알려진 수중로봇은 자율운행이 가능한 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)와 소요 동력, 제어명령 및 수집된 정보를 유선으로 공급하는 ROV(Remotely Underwater Vehicle)로 구분하며 그 중 생체모방형 수중로봇은 물고기와 같은 수중생물을 모사하여 추진력이나 조종력의 효율을 높인 로봇을 말한다. 최근 많은 연구가 진행되고 있는 물고기형 수중로봇은 수중에서 최대 효율을 낼 수 있는 물고기의 몸의 구조를 모사하여 개발되고 있으나 기술적 한계를 넘지 못하고 있다. 몸길이 1.5미터의 황새치는 최대 100km의 높은 속도로 수영이 가능하

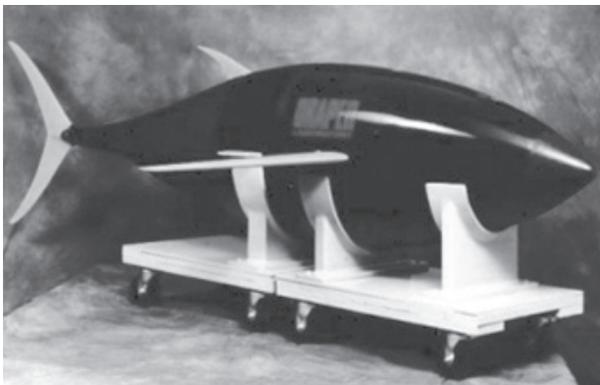
로봇 물고기는 꼬리지느러미의 유연동작을 통해 추진력을 얻으며 이는 프로펠러형 기존 수중로봇에 비해 25% 이상 에너지 효율이 높은 것으로 나타났다.

고 자유자재로 방향전환이 가능하며 깊은 바닷속과 먼 거리를 적은 에너지로 수영이 가능하다. 복어와 같은 종류의 물고기는 작은 지느러미를 이용하여 미세한 선회 및 정지 등 다양한 자세제어와 위치이동이 가능하여 AUV나 ROV에 비해 훨씬 뛰어난 성능을 보여주고 있어 이를 모사한 수중로봇은 해양기술의 미래라 할

수 있다.

국내외 개발 동향

최근 연구되고 있는 생체모방형 수중로봇 중 가장 많이 알려진 로봇 물고기는 생체모방공학 중 해양생



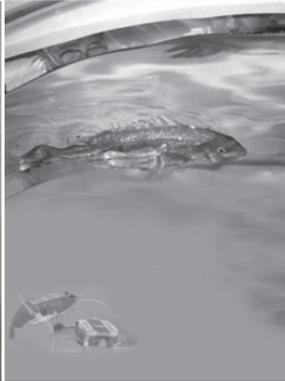
미 MIT의 드레이퍼 참치(1995)



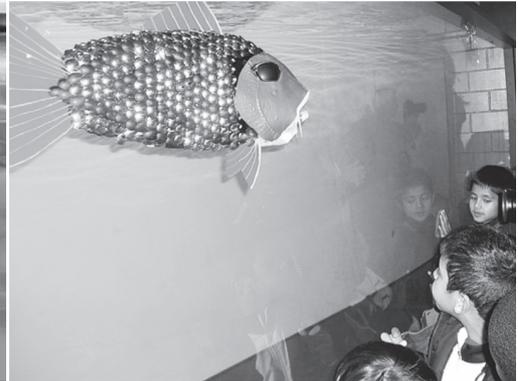
인공근육을 이용한 로봇물고기(2010)



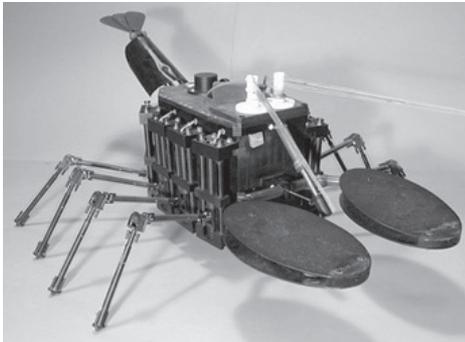
독일 뢰스토 사의 아쿠아펄핀



일본 미쓰비시의 도미로봇



영국 엑세스 대의 피시봇



수중 자원 탐사를 목적으로 개발된 바닷가재로봇(미국, 노스이스턴 대)



미 국방성에서 해양 감시를 목적으로 개발한 참치를 모방한 수중로봇, 고스트스위머

물체와 관련된 분야를 대표하는 상징적인 결과물로 그간 미국을 중심으로 활발히 연구되어 왔다. 세계 최초의 로봇 물고기는 미국 매사추세츠공과대학(MIT)의 로봇 물고기 '찰리' (Charlie)다. 찰리는 약 1.2m 길이에 3,000개 정도의 부품으로 이뤄졌으며 2마력짜리 모터 6개로 움직인다. 찰리는 물고기 중에서도 참치의 모양과 움직임을 모방했는데, 이는 물고기 중 추진 효율이 가장 좋은 것이 참치이기 때문이다.

MIT는 '로봇 참치 II'와 창꼬치를 모방한 '로보파이크' (roboPike)도 개발했다. 2001년 미국 MIT 드레이퍼연구소는 '드레이퍼 참치'를 공개했다. 드레이퍼 참치는 초속 약 1.3m로 헤엄을 치며 수심, 속도, 위치 등을 파악하는 센서를 갖추고 3시간 동안 작동할 수 있는 동력을 달았다. 특히 드레이퍼 참치는 물 밖으로

나온 뒤 물 속에서 얻은 정보를 근거리통신망 이더넷을 통해 내보낼 수 있도록 설계되어 있다. 바닷가재로봇도 있다. 바닷가재로봇은 로봇 물고기에 비해 기술적으로 비교적 쉬운 편이다. 헤엄을 칠 필요가 없어 기계적인 모방이 상대적으로 간단하기 때문이다. 그러나 작업이 가능한 작업 팔을 갖고 있어 수중에서의 작업에 유리하다. 미국은 그 외에 캘리포니아 대에서 개발한 캘리봇(Calibot), 미시건 대학의 로봇물고기 등 활발한 연구가 진행되고 있으며 최근 MIT에서 인공근육을 이용한 수중로봇 개발도 진행하고 있다. 그러나 2005년 영국의 엑세스 대학에서 개발한 로봇 물고기 피시봇(Fishbot)은 그동안 외부에서 조종하던 것과 달리 스스로 수영이 가능한 최초의 지능형 로봇 물고기로 길이 50cm, 폭15cm, 두께 12cm로 초속 0.5m로 유



한국생산기술연구원(이하 생기원)의 “익투스 V3”, 42cm 1.2kg, 자율유영, 무선통신, 무선카메라, 적외선 장애물 감지센서 등



실환경 시험용 “익투스 V5.5”, 55cm, 4.2kg, USBL(Ultra Short Base Line), 관성항법장치 및 GPS 기반 위치인식시스템, 초음파 및 전파통신, 수질센서, 적외선 및 초음파 장애물 감지 센서 등

영이 가능하다. 이 로봇 이후 개발된 G9 모델은 수질 관리 및 탐사 목적으로 활용될 예정이며 2010년 스페인 기혼 하아구에서 실험을 수행하였으나 결과는 만족스럽지 못하였다. 독일은 매우 뛰어난 성능의 로봇을 개발하여 전시하였으나 실용적인 접근은 아직 이루어지지 않고 있고 기업을 중심으로 전시용으로 개발되고 있다.

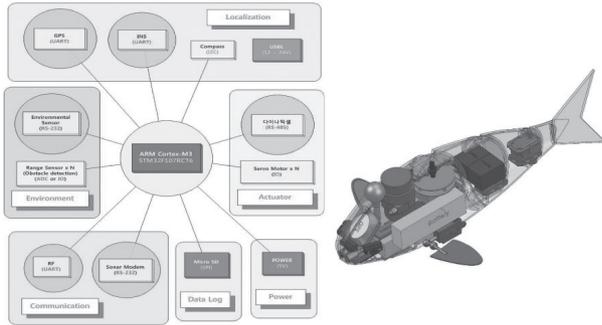
우리나라의 해양로봇 연구는 1990년대 초반부터 본격화됐지만 짧은 역사에도 불구하고 선진국 수준에 근접하는 상황이다. 한국해양연구원은 지난해 5월 미국·일본·프랑스에 이어 세계 네 번째로 6,000m 이상급 무인잠수정인 해미래를 개발했다. 이로써 한국은 태평양 심해저를 비롯해 전 세계 바다의 95%를 탐사할 수 있는 능력을 확보했다. 물고기 형태의 로봇개발은 서울대학교의 로피(ROFI)가 있으며 가장 큰 특징은 실제 물고기의 해부학적 구조를 그대로 모방해 몸통을 설계했다는 점이다. 그 외에도 울산대, 전남대, 경북대 등에서 연구되고 있으나 실제 자율유영이 가능하고 전방향 이동이 가능한 물고기형 로봇은 필자가 개발하여 2009년 부산의 벡스코에서 선보인 “익투스”가 최초라 할 수 있다. 이후 교육용 로봇 전문업체인 SRC에서 교육용으로 로봇물고기를 선보였고

2010년 말 KAIST와 (주)하기소닉이 공동개발한 FIRO가 발표된 바 있다. 최근 강이나 호수, 연근해의 수질 감시를 목적으로 초소형 수중통신용 모델을 장착하고 다양한 센서를 통한 위치인식 및 환경감시가 가능한 익투스V5 시리즈를 개발하여 실제 상용화 단계까지 완성도를 높이고 있으며 버전 5까지 총 11종이 개발되어 로봇 플랫폼기술은 이미 세계 수준에 도달하였으며, 상용화를 위해 더욱 깊은 수심에서의 잠수, 유동 분석 및 최적화를 통한 효율적인 유영기술 확보, 자율 충전능력 제고, 수중통신 및 수중위치인식 성능 향상 및 환경 인식기술 향상 등 개발된 다양한 기능을 보완하고 있다.

생체모방형 수중로봇 개발 시 고려할 점과 해결해야 할 과제

고려해야 할 문제

1994년 MIT가 실제 참치 지느러미를 모사하여 유체 역학적으로 거의 비슷하게 설계한 로봇참치로 실험한 결과 프로펠러보다 지느러미가 훨씬 효율적인 것으로 밝혀졌다. 지느러미는 프로펠러의 날보다 더 넓은 면적의 물을 밀어내기 때문에 그만큼 더 큰 추진력을 얻



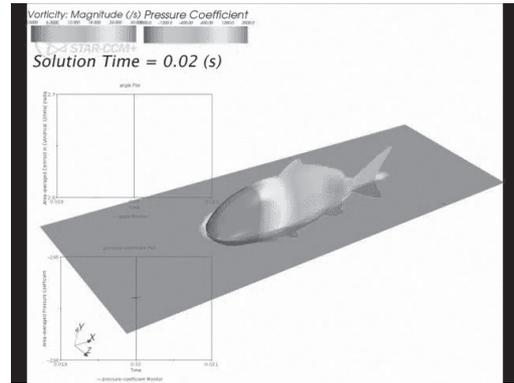
생체모방형 수중로봇의 구성 예(익투스 V5.5)

었다. 결과적으로 프로펠러의 에너지 효율은 70%인데 비해 로봇 참치의 지느러미는 87%나 됐다. 그러나 로봇 물고기를 실제 물고기에 가깝게 만들기 위해서는 무엇보다 물고기의 몸체, 지느러미, 꼬리 등 운동의 기구적 특성을 이해해야 하며, 움직임과 관련된 힘의 변화까지 명확하게 분석해야 한다. 물고기가 움직이는 동안에 꼬리지느러미나 옆지느러미를 반복적으로 움직임으로써 추진력을 얻는 것으로 알고 있으나 실제 물고기는 몸체의 형태와 크기 등에 따라 지느러미가 움직이는 힘과 방향을 절묘하게 조화하여 동작하고 있는데 이를 분석하여 알고리즘을 밝히고 최적화하여 효율적인 유영 방법을 찾아야 한다. 그러나 아직까지 이러한 물고기의 유영 분석과 관련된 연구는 매우 까다로워 부분적으로 이루어지고 있을 뿐이다. 게다가 주위 환경을 판단할 수 있는 탐지기능, 판단을 할 수 있는 지능, 그리고 제어시스템 역시 뒤따라 줘야 한다는 과제를 안고 있으며 완벽한 방수설계와 적합한 소재 등을 찾는 것 또한 매우 중요한 과제 중의 하나이다.

해결해야 할 과제

1) 실제 적용환경과 실험 환경의 차이

주로 생체모방형 수중로봇이 개발되는 환경과 실제 활용환경과는 큰 차이가 있다. 이러한 환경에 적응하기 위해서 더 큰 파워와 강건한 설계를 필요로 한다.



물고기 로봇 유동분석 결과

수조에서의 실험결과는 참고할 뿐이며 수심, 유속 및 주변 환경이 정형화 되어 있지 않은 실제 환경을 충분히 감안하여 설계를 해야 하나 제한된 공간, 수중환경의 특수성으로 인한 정보 전달의 한계, 수심에 따른 수압 변화 및 주변 환경변화에 영향을 받는 수류특성 등을 모두 고려 한다는 것은 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 축적된 정보와 실험결과 및 시뮬레이션을 통해 어느 정도 강건한 설계가 가능하다.

2) 동력원

실제 환경에서 가장 큰 문제는 동력원이다. 제한된 공간과 크기에 내장할 수 있는 배터리의 용량이 한계가 있으므로 이를 지속가능하도록 하기 위한 동력원이 필요하다. 즉 충전 스테이션과 자동 도킹이 가능한 기술적 장치를 요구하되 수중이나 수상에서 이루어지므로 방수 특성 또한 매우 중요하다. 최근 일본이나 미국은 연료전지를 이용한 생체모방로봇의 운용 실험을 진행하고 있는데 제한된 크기와 수중환경의 특성을 감안할 경우 연료전지는 미래 수중로봇의 주요 동력원으로 활용 가능한 것으로 보고 있다. 최근 일반적인 수중로봇에서는 중량 대비 출력이 좋은 리튬폴리머전지를 활용하고 있으나 아직도 부피가 크고 활용 시간이 짧아 활용에는 한계가 있다. 생기원에서는 수상에 도킹스테이션을 설치하여 자율충전 및 세척, 보



관이 가능하도록 하여 활용시간 및 범위를 늘리고자 하였으며 2011년 말 한강에서의 실험을 성공적으로 수행한 바 있다. 동력의 공급을 위해서는 수중 혹은 수상에서 안정적인 전원 공급을 위한 유무선 전원공급기술이 필요한데 최근 개발되고 있는 자기공명식 무선 전원 공급장치가 매우 우수한 성능을 보이고 있다. 미국의 MIT에서는 가정 내 가전기기에 무선으로 전원을 공급할 수 있는 장치를 개발하여 선보인바 있으며 국내에서는 한국전기연구원과 LS전선이 이를 개발하여 상품화를 준비하거나 출시한 바 있다. 생기원에서는 이와 유사한 전자기유도 방식의 무선 충전장치를 개발하였고 접촉식 충전 단자를 이용한 직접 공급 방식도 활용하고 있다.

3) 통 신

수중에서의 통신은 한계가 있어 이를 극복할 수 있는 수중통신장치가 필요하다. 물론 데이터를 저장하고 향후 다운로드함으로써 분석하는 경우엔 조금 다르지만 지속적인 모니터링과 명령전달을 위해서는 로봇의 위치와 정보전달을 위한 수중통신이 필요하므로 이에 대한 기술적 한계극복이 필요하다. 일반적인 전파 통신은 수중에서의 감쇠가 커서 출력 대비 도달거리가 짧아 실용화에 한계가 있다. 최근 미국 해군에서는 장파를 이용한 장거리 수중통신을 시도하고 있으나 장치가 매우 크고 주파수의 한계로 인해 특수한 목적으로만 활용되고 있을 뿐이다. 수중에서 유용한 통신 수단으로서는 초음파 모뎀이 있으나 정보 전달의 양과 속도에 따라 장치가 크고 동력소모가 많을 뿐 아니라 수중에서 반사파로 인해 발생하는 멀티패스로 노이즈 필터기술, 불간섭 통신 기법 등, 다양한 노하우가 필요하며 특히 이동물체 간 통신, 다중통신 등은 더욱 노이즈에 영향을 많이 받아 실용화에 어려움을 겪고 있다. 최근에는 수중통신의 한계를 극복하고 정보 전달 효율을 높이고자 수중 센서 네트워크를 위한 노

드를 설치하여 활용하고자 연구가 활발히 진행되고 있다. 생기원에서는 강릉원주대 및 국민대, 고려대와 함께 소형화된 고성능의 통신장치를 개발하여 도킹스테이션에 게이트웨이를 설치하고 수중의 다수 로봇 물고기에 초음파 모뎀과 다중통신을 위한 MAC을 개발하여 1:M의 통신을 구현하여 적용하고 있다.

4) 센 서

수중에서 필요한 정보를 획득하기 위해서 가장 필요한 것은 센서이다. 물론 수중에서 원하는 위치로 이동하고 작업을 하기 위해선 당연히 항법장치와 위치인식장치, 기타 장애물 감지나 탐지를 위한 센서도 필요하지만 수중환경과 목적에 맞는 센서가 필요하다.

특히, 수중 위치인식은 수중로봇의 핵심 기술로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으나 기술적 한계로 인한 광역 위치 인식은 매우 어려운 형편이다. 이를 위해서 센서네트워크를 활용한 위치인식 방법, 수상/수중 위치인식센서의 융합을 통한 위치정밀도 향상 등을 시도하고 있으나 제한적 범위 내에서만 활용 가능할 뿐이다. 생기원에서 개발하고 있는 익투스V5는 수중위치인식을 위한 USBL(Ultra Short Base Line)시스템과 MEMS기반 초소형 INS, GPS를 융합하여 광역 위치인식을 시도하고 있으며 내륙수계에서 활용 가능한 근거리용 위치인식 시스템을 개발하여 적용하고 있다. 물론 시스템이 대형화되고 장치의 크기 제한이 없어지면 매우 정교한 위치인식 시스템을 적용할 수 있지만 소형 수중로봇의 경우 동력과 장착에 한계가 있어 소형화가 필수적이다.

다음은 수중에서의 과업 수행을 위해 필요한 다양한 센서로서 생기원에서 개발하는 수질환경 모니터링 시스템의 경우 필수적으로 환경 센서가 필요하다. 그러나 수질환경 분석을 위한 항목은 수천 가지가 되나 일반적으로 30여 가지의 필수항목을 분석하여 수질오염도 및 환경변화를 모니터링하고 있다. 그러나 이러

한 항목들을 분석하기 위해서는 다양한 센서와 분석 과정이 필요하며 실시간으로 소형화된 센서를 활용하는 데 아직 어려움이 있고 분석 방법이 복잡하고 시간이 소요돼 수중로봇을 이용한 수질분석엔 한계가 있다. 현재 실시간으로 모니터링이 가능한 수질측정 항목은 용존산소량, 탁도, 전기전도도, pH 및 온도 등으로 이의 분석을 통해 수질 변화를 모니터링 하도록 개발되고 있다. 그런데 최근 Lab on a Chip(LOC) 센서가 개발되고 있어 향후 이 문제가 상당부분 극복될 것으로 보인다.

향후 발전 방향 및 기대효과

국내 수중로봇 개발 수준 향상

수중 로봇에 대한 관심이 높아지고 있으나 국내 시장의 한계와 경제성 부족으로 시장 및 기술 기반이 부족한 상황이며 선진국이 독점적 지위를 누리고 있는 상황이다. 그러나 생체모방형 수중로봇은 개발 초기 단계로서 선점을 통한 기술선도가 가능한 상황이다. 생체모방형 수중로봇은 형태와 활용 목적에 따라 다양하지만 기존 중소형 AUV를 대체할 수 있는 물고기 로봇의 개발 수준은 세계 어느 곳과 비교해도 뒤떨어지지 않는 정도로서 그동안 뒤떨어져 있던 수중로봇

기술 분야의 도약이 기대된다. 이는 그동안 수중로봇의 세계 시장 점유율이 1%도 안되는 기술적 한계를 뛰어넘어 21세기 신 해양문화 시대를 견인할 수 있는 핵심 기술로 생체모방형 수중로봇기술이 답이 될 것으로 기대하고 있다.

기대효과

수중로봇은 그 특수성으로 인해 단순히 방수기술이나 수중운동체 설계 기술에 그치지 않고 다양한 기술의 융합이 필요하나 대부분의 핵심 기술이 각 국가에서 보호기술로 기술장벽이 높은 편이고 많은 경험과 개발 비용이 필요하다. 현재 생체모방형 수중로봇의 경우 대부분의 소요 기술이 국내에서 개발되었고 실용화 수준에 근접하고 있어 기술파급효과가 매우 클 것으로 기대하고 있으며 기존 AUV의 대체가 가능한 기술로서 경제성 또한 높을 것으로 전망하고 있다.

생체모방형 수중로봇의 특성상 에너지 효율이 높고 장애물 환경에 매우 유리하여 활용 범위가 넓을 뿐 아니라 개발비용이 저렴하여 경제성도 높은 편이다. 특히, 선회 반경이 매우 작고 기동성이 좋아 군사 목적의 수중로봇으로도 활용도가 높으며 다양한 환경에서 작업효율을 높일 수 있다.



기계용어해설

다중 연료기관(Multi-fuel Engine)

알코올, 경유, 식물유 등 조금 성질이 달라도 연소가 잘 되므로 여러 가지 연료를 써서 운전할 수 있는 기관.

다판 클러치(Multiple Disc Clutch)

석면과 가는 금속선으로 짜서 플라스틱으로 굳힌 마찰판을 여러 장 엇갈리게 겹쳐 판면에 압력을 가할 때 발생하는 마찰로 토크를 전달하는 클러치.

구성날끝(Built-up Edge)

점성이 강한 재료를 고속으로 절삭할 경우, 날 끝에 절삭가루가 부착하여 날 끝을 무디게 한 상태.

버니어 엔진(Vernier Engine)

장거리 탄도 미사일의 최종단계 추진 로켓이 다 타고 난 후 속도를 조정함과 동시에 진로 오차를 정확히 수정하기 위한 보조 로켓엔진.