

◆ 특집 ◆ UUV(수중로봇) 기술

특수용도 AUV(자율 수중로봇)의 소개와 응용분야

Introduction to Specific Purpose AUV and Applications

유선철^{1,✉}
Son-Cheol Yu^{1,✉}

¹ 부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.)

✉ Corresponding author: scyu@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-3058

Key Words: AUV (자율 수중로봇), Safety Inspection (안전검사), Automation (자동화), Positioning (위치파악), Acoustic Communication (초음파 통신)

1. 서론

최근 위험한 수중작업에 수중작업이 적극적으로 사용됨에 따라 무인화가 급속도로 진행되고 있다. 특히 이동자유도가 뛰어나고, 자세제어의 정밀도가 높은 AUV(Autonomous Underwater Vehicle, 자율수중로봇)는 수중구조물의 안전검사, 해저 자원 탐사, 군사적 탐지등 다양한 용도로 사용되고 있다. 초기의 AUV 는 이동특성에 따라, 장거리 이동을 위한 Cruising type AUV, 국소영역의 정밀 작업을 위한 Hovering type AUV 로 분화되었다.

1990 년도 후반부터, 복잡한 작업과 다양한 요구를 충족시키기 위해 특수용도의 AUV 들이 개발되기 시작하였다. 예를 들어 해전유전의 관리를 위해 ROV 와 AUV 가 결합된 형태의 Hybrid AUV 인 SWIMMER 가 대표적인 예이다. 이러한 특수용도 AUV 들은 제작자체가 요구되는 작업에 최적화되어짐으로 범용성은 떨어지나 특정작업에서의 신뢰도와 효율이 높다.

특수용도 AUV 는 해외에서 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 연구 기반을 마련하고 있다. 국내의 특수 AUV 연구는 대양전기공업(Semi-AUV), 서울대(SNU Glider, RoboFish), 생산기술연구원(Pilot

Robot Fish), 전남대(Robotic Fish), 한국해양연구원(수중궤도차량), 등에서 수행하고 있다.

AUV 의 제작은, 센싱이나 통신등의 제약이 많기 때문에, 일반적인 AUV 의 필요한 기능들이 특화 시키는 형태가 많다. 특화분야는 크게 세 그룹 정도로 나눌 수 있다. 1) AUV 시스템 특화, 2)추진 및 자세제어방법 특화, 3) 센싱 및 통신기능의 특화이다. 본 논문에서는 각 그룹별 설명과 그룹별로 대표적 AUV 들을 다룬다.

2. AUV 시스템 특화

AUV 의 구성시스템을 특화시킨것이다. AUV 들을 복수로 운용하거나, ROV(Remotely Operated Vehicles, 원격조종 수중로봇)에서 사용하는 기능이나 기구를 도입한 AUV 로, 개조적인 성격이 강하다. 대표적인 것들은 아래와 같다.

2.1 Multi-AUV

육상의 Multi-Agent Robot (복수 로봇) 같이 수중에서도 Multi-AUV 들이 운영된다. 이 방식은 작업 시간을 단축 시켜야 하는 임무에 사용된다. 예를 들면 댐, 교각, 항만 등은 상시 가동되는 시설로, 수중 안전검사시간을 최소화 해야 가동효율을 높일 수 있다. 또한 수중전투의 기뢰 제거나 적지형 탐지는 최대한 신속히 해야 한다. 이러한 임무에는 Multi-AUV 가 사용된다.

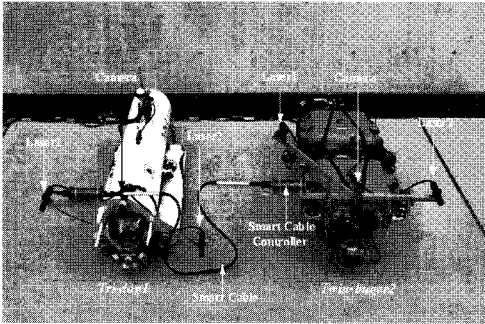


Fig. 1 Multi-AUV, Univ. of Tokyo

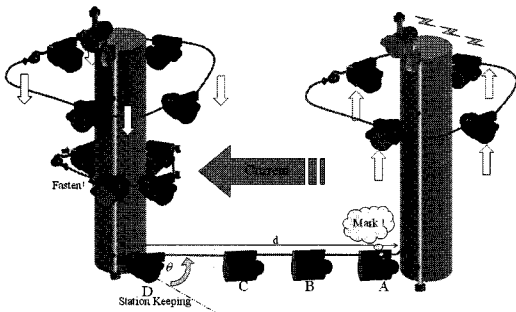


Fig. 2 Rapid Bridge's Column Inspection, Univ. of Tokyo

대표적인 연구로는 미국 메인대학의 연구¹가 있다. 어뢰형 소형 AUV 들에 초음파모형을 탑재하여 운용한다. 그러나 이러한 시스템은 AUV 들간의 통신과 위치파악이 어려운 문제점이 있다. 실험에서의 초음파 통신속도가 매우 느리고, 통신링크가 자주 끊어지는 등의 어려움이 있다. 또한 AUV 들의 위치를 파악하여야 운영이 가능하기때문에, 모든 AUV 에 고가의 위치센서들을 탑재해야 하는 문제점이 있다.

이러한 문제 해결을 위해 개발된 대표적인 시스템으로는, 1) 일본 동경대학의 HS(Hand-in-hand System)^{2,3} 과 2) 미국 Blue fins Robotics 사의 Moving LBL(Long Base Line) System⁴ 이 있다.

1) HS 는 Fig. 1 과 같이 AUV 들을 Smart Cable 이라는 특수 케이블으로 연결된 시스템이다. 이 케이블은 고속통신이 가능할 뿐 아니라, 케이블의 모양 파악이 가능한 광섬유센서들을 내장하고 있어서, 연결된 모든 AUV 들의 상대적 위치를 실시간에 파악할 수 있다. AUV 들이 서로 연결되어 있는 Multi-Coordinate System 으로, AUV 들이 우주의 로봇처럼 자벌레(Inchworm) 방식으로 이동하거나,



Fig. 3 SAUVIM AUV, ONR/Univ. of Hawaii

Fig. 2 처럼 시계가 나쁜 하천의 교각을 고속으로 검사하는 일이 가능하다.

2) Moving LBL 은 절대위치 파악기능을 갖춘 3 대의 AUV 이 삼각편대를 이뤄 진행하며, 다른 AUV 들이 삼각편대 내부에서 움직이면, 3 대의 AUV 들을 GPS 의 위성처럼 사용하여 자신의 위치를 파악하는 방법이다.

2.2 매니플레이터 부착 AUV

매니플레이터를 부착한 작업은 주로 ROV 에 의해 이루어진다. 수중 매니플레이션은 숙련된 전문가가 필요한 고도의 작업임으로, 케이블을 통해 수동으로 조작한다.

그러나 특정영역에서의 반복적인 작업들을 할 경우, ROV 는 모션운영이나 케이블 관리 등으로 유지비가 많이 들고 장거리 항해에 제약이 많다. 예를 들어 특정 심해에 설치된 지진감지센서들은 배터리 교환과 데이터 수집을 위해 정기적으로, 센서를 설치 하고 회수해야한다. 그러나 이를 위해서는 모션 운용등에 막대한 비용이 든다.

이를 위해 AUV 에 로봇팔을 장착한 AUV 이 개발되었다. Fig. 3 과 같은 하와이대학의 SAUVIM (Semi-Autonomous Underwater Vehicle for Intervention Mission) AUV⁵ 가 대표적이다. 목표지점까지는 일반 AUV 모드로 움직이며, 목표지점에 도착하면 초음파 통신을 이용하여 매니플레이션 작업을 실시한다. 수중통신의 제약상, 작업을 상당부분 자동으로 실시하며, 작업자가 통신을 이용하여 command level 에서 감독하는 컨셉이다.

이 경우 모션을 사용하지 않거나, 사용하더라도 통신용 용도의 소형모션으로 충분하므로, 운용 부담을 크게 줄일 수 있다.

2.3 하이브리드 타입

수중 작업중에는 동일위치에서 빈번히 정밀 매

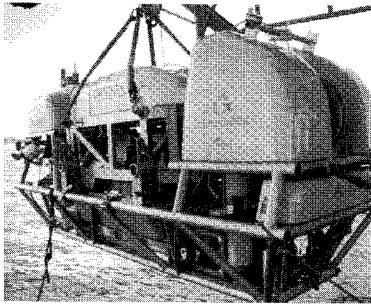


Fig. 4 Hybrid AUV SWIMMER, EU

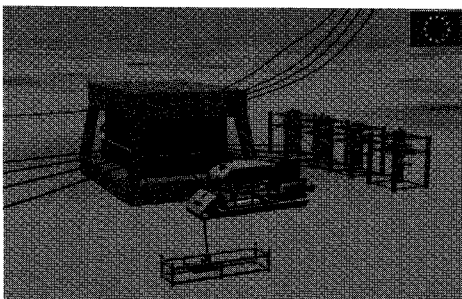


Fig. 5 SWIMMER's Operation at Docking Station

니플레이션 요구되는 경우가 있다. 해저유전의 관리가 대표적이 예이다. SWIMMER^{6,7} 는 이러한 작업을 위해 EU 에서 개발된 대표적인 AUV 이다.

매니플레이션을 위해 SAUVIM AUV 가 초음파의 무선통신을 하는 반면, SWIMMER 는 통신링크에 접속하여 유선통신을 한다. Fig. 4 와 같이 계란모양의 SWIMMER 는 절반은 AUV, 절반은 ROV 로 이루어진 하이브리드 타입이다. AUV 의 운영권선은 매우 독특하다. Fig. 5 와 같이 해저유전근방에는 육상과 케이블로 연결되어진 Docking Station 이 설치되어 있다. 이곳에 도킹하면 유선통신이 가능하다. SWIMMER 는 수면에서 이 Docking station 까지 AUV 로서 자율운행으로 이동하여 Docking Station 에 도킹한다. 그 다음, Vehicle 의 절반인 AUV 쪽은 Docking station 에 남아 통신링크를 유지하고, ROV 쪽은 케이블을 풀면서 작업위치로 이동한다. 이때, ROV 는 Docking station 과 연결된 육상의 지휘소에서 조작한다. 이런 방법을 사용하면, AUV 의 장점인 이동의 편의성을 유지하면서도, ROV 의 장점인 통신링크를 사용하여 매니플레이션을 하는 잇점을 동시에 가질수 있다.

2.4 모듈형 AUV

AUV 들은 표준적 모델이 거의 없고, 필요에



Fig. 6 Navigation under ice, Theseus AUV, ISE

따라 제작하는 형태인 반면, 제작 후에는 변형이나 개조가 어렵다. 이러한 단점을 개선한 것이 모듈형 AUV 이다. AUV 의 중요부분들을 원통형 모듈로 만들어서, 필요에 따라서 모듈을 교체하는 방식이다. 예를 들어 운항의 거리에 따라서 붙여지는 배터리의 블럭수를 달리하거나 특수기능을 가진 블럭을 탑재하는 형식이다.

Fig. 6 은 캐나다의 ISE 사에서 제작된 대표적인 모듈형 AUV 인 Theseus⁸ 이다. 겨울에 얼음이 얼어 버린 바다 아래서 통신용 광케이블을 설치하는 특수한 기능이 있다. 동체 내부에 광케이블을 탑재하고, 후미 프로펠러의 축으로부터 거미가 거미줄을 뽑듯이 광케이블을 뽑으면서 목표지점을 까지 운항 한다. 임무에 따라 광케이블 모듈을 배터리 모듈로 교체하거나 동체의 길이를 줄이는 일이 가능하다.

3. 추진 및 자세제어 방법 특화

3.1 추진방법 특화

프로펠러대신 수중 생물의 추진방식을 모방한 추진방식을 이용하는 AUV 가 있다. 지느러미로 헤엄치는 물고기의 추진방식은 군사적인 측면에서 주목을 받고 있다. 물고기는 진행 중 거의 감속하지 않고 180 도 방향을 바꾸는 Non-stop turning 이 가능하다. 이러한 기술을 응용할 경우, 잠수함이나 어뢰의 위력을 비약적으로 높일 수 있다. 또한 지느러미를 이용한 추진방식은 프로펠러와 달리, 초음파에 의한 탐지가 쉽지 않다.

이러한 군사적인 장점 때문에, 미해군을 중심으로 물고기형태의 AUV 들이 개발되었다. 고전적인 물고기 형태의 AUV 는 Fig. 7 과 같은 MIT 의 Robo-Tuna⁹ 와 Robo-Spike 가 있다. 그림처럼 AUV

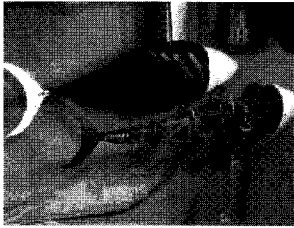


Fig. 7 Robo-Tuna, MIT

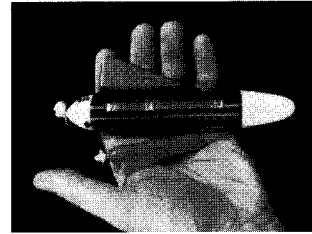


Fig. 11 Micro-Hunter AUV, Nekton Research



Fig. 8 Robotic Fishes, Mitsubishi Heavy Industrial

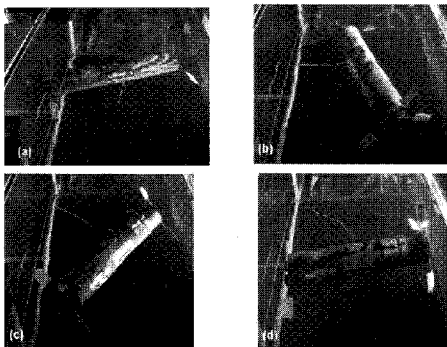


Fig. 9 Robo-Turtle, NUWC



Fig. 10 Robotic Turtle, MIT

의 몸통이 링크구조로 되어서, 서보 모터로 각 링크들을 제어하여 추진력을 얻는다.

그 이후, 링크 대신의 탄성이 좋은 얇은 금속판을 좌우로 흔드는 방식이 개발되었다. Fig. 8 과 같은 미츠비시의 물고기 AUV^{10,11} 가 대표적인 예

이다. 관람용 수족관의 물고기들을 AUV 로 교체하기 위해 개발된 이 AUV 들은, 링크 구조와는 달리 매우 부드러운 움직임을 보여준다. 국내에서도 물고기형태의 AUV 연구^{12,13} 가 진행중이나 아직은 초기단계이다.

최근에 개발되고 있는 방법은 모터대신, 이온 폴리머등의 인공근육을 이용하여 물고기의 몸체의 움직임을 그대로 재현하는 방법이다.¹⁴ 아직은 실험실 수준에 개발단계이다.

그밖에 거북이를 이용한 AUV 의 추진방식도 연구되고 있다. 거북이의 네발은 반달형태로, 작은 표면적에 비해 수중 조종성능이 뛰어나서 주목 받고 있다. 대표적인 AUV 로는 Fig. 9 와 같이 NUWC(Naval Underwater Warfare Center, 미해군 수중전 연구센터)에서 개발된 AUV¹⁵ 와 Fig. 10 과 같이 MIT 에서개발된 Finnegan Robo-turtle¹⁶ 이 있다.

프로펠러를 이용한 특수 추진방식으로는 Fig. 11 과 같이 미국 Neckton 사에서 개발한 micro-hunter¹⁷ 가 있다. Micro-hunter 는 프로펠러 부근에 있는 fin 을 이용하여, AUV 가 크게 나선을 그리며 이동한다. 이때 나선의 직경과 Pitch 를 조종하여 경로를 바꿀 수 있다. 이 방법을 사용하면 초소형의 크기에 매우 단순한 구조로 제어 및 추진성능을 높일 수 있다.

3.2 자세 제어 방식 특화

수중에서 물체가 중성부력(Neutral Buoyancy)일 때, 무중력상태와 비슷해진다. 이를 이용해, 인공위성과 같이 자이로 효과를 이용하여 자세를 제어하는 AUV 가 개발되었다. Fig. 12 동경대학에서 개발된 IKURA AUV¹⁸ 이다. Fig. 13 과 같이 내부에 고속으로 회전하는 자이로를 각축별로 장착하여, 자이로를 기울일때 발생하는 모우멘트를 제어하여 수중에서의 AUV 의 자세를 제어하는 방식이다. 이러한 AUV 는 관내검사에 매우 효과적이다. 예를 들어 건물내부의 설치되는 냉온수 파이프의 관내

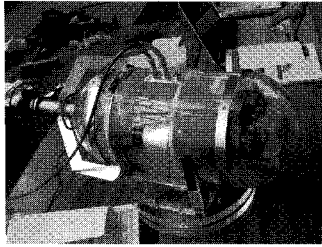


Fig. 12 Zero-G AUV IKURA, Univ. of Tokyo

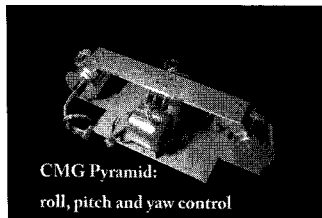


Fig. 13 Gyro Module of IKURA AUV

검사에 AUV 를 사용하면 효과적이거나, 파이프가 수직으로 꺾이는 지점에서는 AUV 가 진행방향을 90도로 바꿔야 한다. 선박과 같이 Rudder 혹은 Fin 을 이용하는 Cruising type AUV 의 경우, 순간적으로 90 도 선회가 어려우며, 다수의 추진기를 장착한 Hovering type AUV 의 경우, AUV 의 크기가 커져서, 작은 직경의 파이프 내부에 넣기가 어렵다. 자이로를 이용하는 AUV 는 한 개의 추진기만 장착해 부피를 줄이면서도, 자이로를 이용하여 90 도 회전이 가능하며, 관내검사에 효과적으로 사용할 수 있다.

4. 센싱 및 통신 특화

4.1 센싱 기능에 특화

최근 들어 테러방지를 위해 항만, 교각등의 연안 감시가 강화되고 있다. 보통 연안지역은 물이 탁하여 수중에서 멀리 볼 수 없다. 시계(Visibility)가 1-2 미터 정도로 제약되어, 일반 광학 카메라는 이용이 어렵고, 초음파 카메라를 이용해야 한다. Fig. 14 는 대표적인 고해상도 초음파 카메라인 DIDSON¹⁹의 영상을 보여주고 있다. 시계가 1 미터 이하인 항만에서도 수십미터 밖의 물체를 야시경(Night Vision)과 비슷한 흑백 영상으로 볼 수 있다.

초음파 카메라는 물리적 특성상, 물체를 비스듬한 각도에서만 봐야 영상이 제대로 나오는등의 특수성을 가지고 있다. 이러한 특수성을 감안하여, 좋은 초음파 화상을 얻기 위해 개발된 것이 MIT

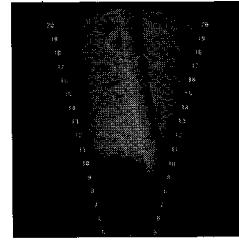


Fig.14 High-Resolution Sonar Image, Underwater Pipe

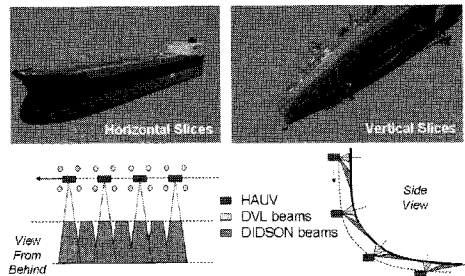


Fig. 15 Ship Hull Inspection at Port, Wet State

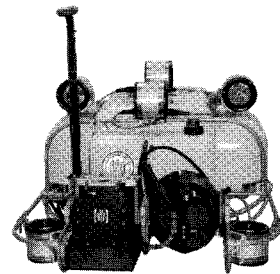


Fig. 16 Ship Inspection AUV H-AUV, MIT

의 H-AUV²⁰ 이다. Fig. 15 와 같이, 항구에 정박한 선박의 바닥면을 감시하는 경우, H-AUV 가 초음파 카메라를 항상 선박표면과 일정한 각도를 유지하여 효과적인 화상을 얻을수 있도록, AUV 의 자세와 초음파 카메라의 위치를 제어한다.

Fig. 16 과 같이 H-AUV 에는 총 8 개의 추진기가 있어서, 모든 방향으로 제어가 가능하며, 특별한 중심설계를 통하여 정밀자세제어가 용이한 구조로 되어 있다.

Fig. 17 은 하와이 대학에서 개발된 Bat mobile²¹의 모습이다. 수면위에서 안정적으로 움직이며 초음파 카메라로 항만등을 감시 할 수 있다. 효과적인 연구개발을 위해 개폐가 용이한 트렁크형 하우징을 사용하였다.

Fig. 18 은 일본 Biwa 호수의 수질관리를 위해 동경대의 Biwa 호수연구소가 공동으로 개발한 Tan-

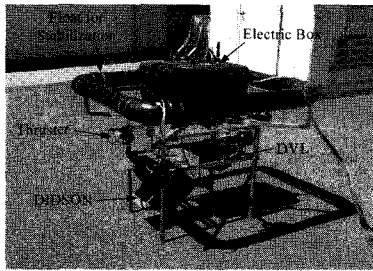


Fig. 17 Seabed Inspection AUV Bat mobile, Univ of Hawaii

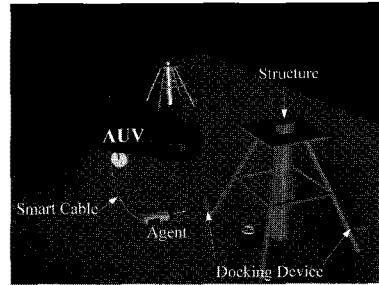


Fig. 19 Schematic View of Agent AUV for Communication Link

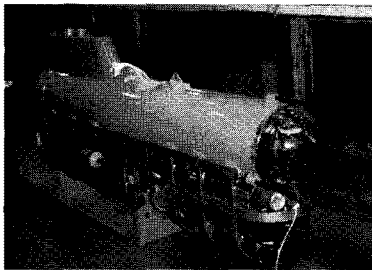


Fig. 18 Lake Monitoring AUV Tan-Tan, Lake Biwa Research Center

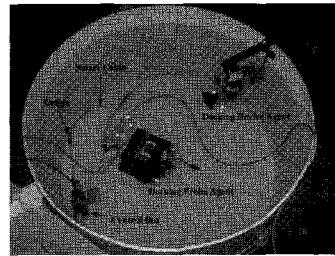


Fig. 20 Docking Test of Agent AUVs, Univ. of Hawaii

tan AUV²²이다. Tan-Tan 은 대도시의 식수원 수질관리등에 필수인 환경 센싱기능에 특화 된 것이 특징이다. 예를 들어 수질분석을 위해, 채취한 샘플을 실험실까지 보내면 이동에 시간이 걸려, 샘플의 결과가 달라질수 있다. Tan-Tan 은 전자 현미경 및 고속 통신장비등을 장착하고 있어, 자동으로 샘플을 채취하여 전자현미경으로 촬영한다음, 고속 초음파 통신으로 실시간에 전자현미경의 화상을 송신 할수 있는 시스템을 갖추고 있다. 이러한 환경 센싱 시스템에 최적화된 Vehicle 이다.

4.2 통신기능에 특화

통신기능을 특화시킨 AUV 로는 micro-agent²³ 와 Tam-egg²⁴ 가 있다. Fig. 19 와 같은 Micro-agent 는 대형 Cruising type AUV 에 탑재된 support vehicle 이다. 모듈화된 micro-agent 가 Cruising type AUV 에서 발진하여 소형 docking station 에 도킹하면 통신링크가 확보된다. 도킹에는 Micro-agent 가 비접촉 광학통신을 이용하여 고속으로 통신한다. Micro-agent 는 smart cable 을 사용하여 위치를 파악함으로써 크기를 대폭 축소하였다. Fig. 20 은 하와이대학에서 개발한 통신용 agentAUV 의 실험장면이다. 사진의 탱크의 직경은 약 1 미터, AUV 들의 길이는 25cm 정

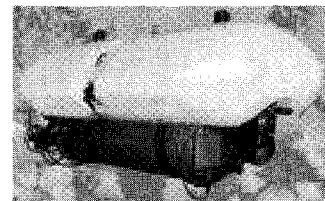


Fig. 21 Hybrid Communication AUV Tam-Egg, Univ. of Tokyo

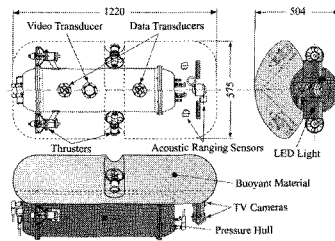


Fig. 22 Lay out of Tam-Egg AUV

도의 소형이다.

Fig. 21 은 동경대학이 개발한 Tam-egg 는 수중 통신에 특화된 시스템이다. 중계기에 탑재된 상태로 배에서 내려져서, 목표물 근방에서 발진한다. 중계기는 모선과 광케이블로 연결되어 있어 초고속통신이 가능하며, 중계기와 Tam-egg 는 초음파 통신으로 연결된다. 고속으로 대용량 데이터의 초

음파통신을 구현하기 위해 Fig. 22 와 같이 지름 약 30 센치의 대구경 초음파 센서를 상부 중심지점에 장착하고 있다. 또한 데이터를 하드웨어를 이용하여 압축한 상태로 송수신 하기 때문에, 고속 통신이 가능하다.

Tam-egg 의 수직 추진기는 평행이 아니라 사다리꼴로 경사지게 부착되어 있다. 평행하지 않은 두 추진기의 추력 벡터를 적절히 조절하면, 수직 뿐 아니라 수평으로도 이동 할 수 있다. 이런 방법을 사용하면 3~4 개가 사용되는 추진기가 2 개로 줄어들어 소비전력을 줄일 수 있다.

추진기의 수를 줄이면 자세제어의 정밀도는 떨어지나, 전력소모가 많은 대구경 초음파 통신장치의 전력을 확보함으로써 통신기능을 유지할 수 있다.

5. 결론

특수 용도 AUV 를 개발하는 이유는, 임무자체가 그만큼 중요하고 다른 대안이 거의 없기 때문이다.

AUV 의 상업화가 이제 초기단계인 것을 고려하면,시장의 요구에 맞게 특화된 특수용도 AUV 는 상업적으로도 매우 높은 가치를 가지고 있다.

댐, 교량, 항만등의 유지보수나 냉각수조 및 화학탱크내부 검사, 가동중인 상하수도관내의 검사 및 관리, 공격용 무인잠수함등 특수용도 AUV 가 개발되고 있는 곳은 매우 다양하다.

특수용도 AUV 는 기능의 범용성대신, 특정 임무수행에 있어 높은 신뢰도가 요구된다. 그러므로, 고가의 센서나 첨단 가공기술이 필요하나, 상대적으로 부가가치가 높고 안정된 수요가 확보되어 있어서 전망이 매우 밝다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

참고문헌

1. Turner, R. M. and Turner, E. H., "A two-level, protocol-based approach to controlling autonomous oceanographic sampling networks," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 26, Issue 4, pp. 654-666, 2001.
2. Yu, S. C. and Ura, T., "A system of Multi-AUV Interlinked with a Smart Cable for Autonomous Inspection of Underwater Structures," International Journal of Offshore Structures and Polar Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 265-273, 2004.
3. Yu, S. C. and Ura, T., "Experiments on a system of Multi-AUV Interlinked with a Smart Cable for Autonomous Inspection of Underwater Structures," International Journal of Offshore Structures and Polar Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 274-283, 2004.
4. Vaganay, J., Leonard, J. J., Curcio, J. A. and Willcox, J. S., "Experimental validation of the moving long base-line navigation concept," Proc. of IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicle, pp. 59-65, 2004.
5. Yu, S. C., Kim, T. W., Marani, G., Choi, S. K. and Yuh, J., "Communication and Navigation of SAUVIM," Proc. of Asian Pacific Underwater Robotics CD-ROM, 2005.
6. Evans, J. C., Keller, K. M., Smith, J. S., Marty, P. and Riquaud, O. V., "Docking Techniques and Evaluation Trials of the SWIMMER AUV: An Autonomous Development AUV for Workclass ROVs," Proc. of IEEE/MTS OCEANS, pp. 520-528, 2001.
7. Evans, J. C., Redmond, P., Plakas, C., Hamilton, K. and Lane, D., "Autonomous docking for intervention-AUVs using sonar and video based real-time 3D pose estimation," Proc. of IEEE/MTS OCEANS, Vol. 4, pp. 2201-2210, 2003.
8. Thorleifson, J. M., Davies, T. C., Black, M. R., Hopkin, D. A. and Verralls, R. I., "The Theseus Autonomous Underwater Vehicle A Canadian Success Story," Proc. of MTS/IEEE OCEANS, Vol. 2, pp. 1001-1006, 1997.
9. Barrett, D. S., "Propulsive efficiency of Robotuna," Ph. D thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1988.
10. Coelacanth robotic fish home page, www.mhi.co.jp/enews/e_0898.html
11. Yamamoto, I., "Research on Bio-Maneuvering Type Underwater Vehicle Development of Life-Like Swimming Robotic Fish," Proc. of International Symposium on Unmanned Underwater Submersible Technology CD-Rom, 2005.
12. Kim, E. J. and Youm, Y., "Design and dynamic

- analysis of fish robot: PoTuna,” Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 5, pp. 4887-4892, 2004.
13. Kwack, S. H. and Kim, Y. H., “Development of Robot Fish, ROFI 1.1,” Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 11, No. 1, pp. 1-10, 2007.
 14. Sugiyama, K., Ishii, K. and Kaneto, K., “A Ribbon Like Fin Using Electro Conductive Polymer For Precise Motion Control,” Proc. of Symposium on Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, pp. 391-396, 2007.
 15. Bandyopadhyay, P. R. and Boller, M., “Convergence in Underwater Swimming between Nature and Engineering,” Proc. of International Symposium on Unmanned Underwater Submersible Technology CD-Rom, 2005.
 16. Wolf, M. I., Licht, S. C., Hover, F. and Triantafyllou, M. S., “Open Loop Swimming Performance of 'Finnegan' the Biomimetic Flapping Foil AUV,” Proc. of International Offshore and Polar Engineering Conference, pp. 247-253, 2006.
 17. Hobson, B., Schulz, B., Janet, J., Kemp, M., Moody, R., Pell, C. and Pinnix, H., “Development of a micro autonomous underwater vehicle for complex 3-D sensing,” Proc. of MTS/IEEE OCEANS, Vol. 4, pp. 2043-2045, 2001.
 18. Thornton, B., Ura, T., Nose, Y. and Turnock, S., “Zero-G Class Underwater Robots: Unrestricted Attitude Control Using Control Moment Gyros,” IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 32, Issue 3, pp. 565-583, 2007.
 19. www.didson.com
 20. Vaganay, J., Elkins, M. L., Willcox, S., Hover, F. S., Damus, R. S., Desset, S., Morash, J. P. and Polidoro, V. C., “Ship Hull Inspection by Hull-Relative Navigation and Control,” Proc. of MTS/IEEE OCEANS, Vol. 1, pp. 761-766, 2005.
 21. Yu, S. C., “Development of Real-Time Acoustic Image Recognition System using by Autonomous Marine Vehicle,” Journal of Ocean Engineering, Vol. 35, Issue 1, pp. 90-105, 2008.
 22. Kumagai, M., Ura, T., Kuroda, Y. and Walker, R., “A new autonomous underwater vehicle designed for lake environment monitoring,” Advanced Robotics, Vol. 16, No. 1, pp. 17-26, 2002.
 23. Yu, S. C., “Preliminary Test on Agent based Docking System for Autonomous Underwater Vehicles,” International Journal of Offshore structure and Polar Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 52-59, 2009.
 24. Ura, T., Kurimoto, Y., Kondo, H., Nose, Y., Sakamaki, T. and Kuroda, Y., “Observation Behavior of an AUV for Ship Wreck Investigation,” Proc. of MTS/IEEE OCEANS, Vol. 3, pp. 2686-2691, 2005.