수중로봇 개발동향 및 핵심기술

본 논문은 군이 장차 운용하게 될 무인체계 중 무인잠수정에 관련하여 미래 전장 환경을 고려한 필요성을 분석하고, 무인잠수정의 잠재적인 능력과 역할, 국내 · 외 개발 현황 및 핵심기술을 살펴보았으며, 끝으로 무인잠수정의 국내 개발 및 획득전략을 간략히 소개한다.

■ 최중락
(국방과학연구소)

Ⅰ. 서론

로봇기술은 21세기를 주도할 국가과학기술의 중추적 역할로 그 중요성이 증대하고 있다. 첨단과학기술의 발전과 미래 전장 환경의 변화에 따라 군사용 무인체계에 대한 소요군의 개발요구가 증대되리라 예상된다. 아프간전 및 이라크전에 실전 사례로 Predator 무인항공기(UAV)는 정찰/감시 뿐 만 아니라 유도탄을 탑재하여 공격 임무까지 수행하였으며, 지상에서는 동굴이나 건물을 수색할 때 PackBot 무인지상로봇(UGV)을 투입함으로서 위험한 작전을 효과적으로 수행하였고, 해상에서는 기뢰가 부설된 해역에서 REMUS-100 무인잠수정(Unmanned Underwater Vehicle : 이하 UUV)을 투입하여 기뢰탐색을 성공적으로 수행한 바 있다.

그림 1. 실전에 투입된 REMUS-100.

이렇게 공중/지상/해상에서 무인체계를 실전에 투입하여 운용함으로써 인명을 보호하면서 위험한 작전을 효과적으로 수행할 수 있는 미래 병기로서의 그 가능성이 이미 확증되었다.

특히 UUV는 잠수함처럼 비대칭 전력 및 은밀성 때문에 얻을 수 있는 군사적인 이득이 많다. 대부분 임무를 수중에서 수행하고 음향 및 자기(magnetic)신호가 거의 발생하지 않기 때문에 적으로부터 발각될 가능성이 거의 없다. 이러한 은밀성의 장점으로 적 연안에 깊숙이 침투하여 적군에게 포착되지 않은 채 앞서서 보낼 수 있다. 궁극적으로 UUV가 가장 민감한 지역에서 위험한 임무를 수행한다면 해상전투요원이 위험에 처하는 상황을 크게 줄일 수 있게 될 것이다.

그러나 UUV의 운용 환경은 무인항공기나 무인지상차량 경우 보다 훨씬 더 열악하다. 수중은 모든 것이 다 악조건이다. 시야가 공중이나 지상보다 크게 제한된다. 수중운항 시 해류 때문에 예정된 코스를 유지하기가 어렵다. 바닷물은 장치들을 쉽게 부식시킨다. 수중에서 무선신호나 위성항법장치들은 거의 사용할 수 없다.

이러한 제약에도 불구하고 미국 및 군사강대국들은 혼탁한 수중 수백 m 거리에서 지갑보다 작은 물체도 식별 해내는 소나도 개발하였으며, 수 km에서 수십 kpbs이상의 수중통신이 가능하게 되었고, GPS를 수신하지 않고도 수중에서 독자적으로 해저지형 또는 지구중력 DB을 이용한 대조항법으로 정밀한 수중항해가 가능하게 되었다. 또한 운용 효율성을 높이고 인간의 개

입을 최소화하는 고수준의 자율임무수행이 가능해졌다.

최근 국내 연구현황은 민간 연구소, 산업체 및 학계에서 수중로봇개발에 많은 관심을 가지고 활발한 연구 개발을 수행하고 있으며, 특히 2010년 서해 천안함 폭침사건 이후 UUV의 필요성을 절감했던 때에 해군이 "수중탐색 자율무인잠수정 개발"을 소요제기 함에 따라 때늦은 감이 있지만 국내 최초로 방위사업청이 주관하는 ACTD (Advanced Conceptual Technology Demonstration)사업으로 2011년도에 착수된 것은 다행이라 하겠다.

한반도 주변은 아직도 남북한 간에 긴장 대치상황 하에 있고, 주변국가로 일본과는 독도, 중국과는 최남단 해양관측기지 등의 도서영유권 문제로 언제든지 외교적인 분쟁이 예상되고 있으며, 세계10대 경제대국으로서 수 · 출입 무역을 위한 해상통로보호와 필요시 소말리아 근해 및 남극기지까지 보호해야 하는 해양보호영역이 점차로 확대되고 있기 때문이다. 이를 극복하기 위한 한 대책으로 비용 및 전략 측면에서 유 · 무인체계를 유기적으로 결합하여 운용할 수 있는 무인체계를 반드시 고려해야 할 것이다.

본고에서는 해군이 장차 운용하게 될 무인체계 중 UUV에 관련하여 미래 전장 환경을 고려한 필요성, UUV의 잠재적인 능력과 역할, 국내 · 외 개발 현황 및 핵심기술을 살펴보고, 끝으로 획득전략을 간략히 소개한다.

Ⅱ. 무인체계의 필요성

미래 전장 환경에서 '무인체계가 왜 필요한가?' 라는 질문에 NCW에 기반한 C4ISR 프로세스를 이해하면 답이 될 수 있을 것이다.

C4ISR의 프로세스는 그림 2와 같이 센서에 의한 정보수집, 통신에 의한 정보전달, 플랫폼에서 접수된 정보의 종합/분석/의사결정, 도구에 의한 전력투사, 센서에 의한 평가 및 확인 등 일련의 작업들이 순차적으로 긴밀히 연결되어 진행되어지고, 전체적으로 반복적인 사이클을 이루고 있다. 이러한 C4ISR 사이클에서 무인체계는 다음과 같은 중요한 역할을 당당할 수 있다.

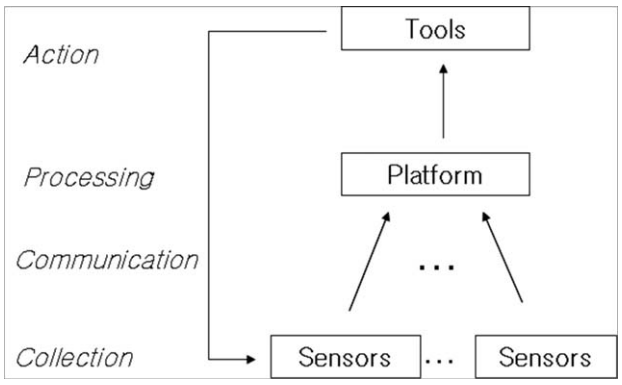

그림 2. C4ISR 프로세스.

첫째로, 정보수집(collection) 및 평가/확인(evaluation and validation)을 위한 센서의 역할을 담당하여 무인체계가 공중, 지상, 해상, 수중에서 입체적인 전장의 상황을 신속히 파악하는 것이다. 무인체계는 자율성을 갖고 있기 때문에 통신한계에 대한 제한없이 자유롭게 최대한 멀리 접근할 수 있다는 확장성뿐만 아니라 독립성이 있기 때문에 플랫폼(또는 지상 기지)과 불연속적으로 협동작전이 가능하다. 이러한 불연속적인 협동작전은 거부지역 또는 위험지역에 은밀히 침투하여 정보 획득이 가능함을 의미한다.

둘째로, 무인체계가 플랫폼과 적 종심에 배치된 센서 및 도구 간에 통신 중계(communication relay) 역할뿐만 아니라 주요 정보를 획득할 수 있도록 효과적인 통신망 구성이 가능하다. 빠른 시간 내에 장기간 유연한 통신망을 구성함으로써 적 종심 지역에 투입된 아군의 플랫폼(잠수함이나 특수부대)이 적에게 불필요한 노출을 최대한 억제할 수 있다. 예로 잠수함이 수중에서는 UUV를 이용하거나 혹은 초수평선(over-the-horizon)에 위치한 특수부대는 무인항공기를 이용하여 통신중계를 수행하면 잠수함이나 특수부대의 노출을 최대한 줄일 수 있다.

셋째로, 적 종심의 공격을 위한 투사 도구(shooter tools)의 역할을 효과적으로 수행할 수 있다. 무인체계에 무장을 탑재하여 공중, 지상, 해상, 수중에 배치하여 공격 플랫폼으로서 전력을 투사하는 것이다. 이렇게 되면 미래 전장 환경은 혁신적으로 변화될 것이다.

따라서 NCW에 기반된 미래 무기체계는 무인체계를 배제하고는 구현이 불가능하며, 결국 유인체계는 네트워크로 연결된 무인체계를 최대한 활용하여 먼저 보고(see first), 먼저 결심하고(understand first), 먼저 타격(act first)할 수 있게 될 것이다.

Ⅲ. UUV의 능력과 역할

UUV는 함정, 잠수함, 항공기에서 전투요원에 이르기까지 다양한 플랫폼으로 부터 전개되어 다양한 임무를 수행할 수 있지만 대표적인 주요 임무를 요약하면 다음과 같다.

○ 감시/정찰(ISR) : 원활한 감시/정찰을 위해서는 위험한 연안지역에서 모함과 원거리 통신능력, 장기간 수중체재능력, 필요

시 단독으로 고도의 자율능력을 기본적으로 갖추어야 한다. 적에게 노출이 되지 않도록 필수장비를 제외한 모든 장비를 끄고 수동모드(passive mode)로 작전지역에 은밀히 침투하여 지나가는 적 함정의 음향지문(acoustic signature)이나 또는 적 연안의 전술적 정보를 수집하여 원하는 시간에 제공할 수 있다. 이외에도 연안작전에서 해저지도, 전투손상추정, 전천후 물자 수송 및 적 함정에 대한 기만작전으로 적 공격을 지연시키거나 따돌리는 등의 역할을 수행할 수 있다.

○대기뢰전(MCM) : 기뢰가 아직도 세계적으로 유인함정에 심각한 위협으로 남아 있으나 대기뢰전 능력은 미래 전장 환경에 대비하여 만족스럽지 못하다. 자율로 운항하는 UUV의 대기뢰전 능력은 미래 대기뢰전에 대비하여 유연하고 적절한 해결책을 제공해줄 것으로 기대된다. 고성능센서가 탑재된 고가의 UUV는 기뢰를 탐색하고, 저가의 소모용(one shot)개념의 소형 UUV를 보내어 탐색한 기뢰 근처에서 자폭시켜 기뢰를 제거하는 것이다. 이외에도 기뢰지역을 정찰하여 아함정에게 안전한 길을 안내하는 역할을 수행하는 것이다. 궁극적으로는 원하는 기뢰지역을 정찰하고 자율로 기뢰를 탐색/분류/식별/무력화하는 것이다.

○대잠전(ASW) : 길목(choke point)에서 UUV가 센서배열을 전개하여 적 잠수함이나 함정의 출현을 사전에 탐지하고 실시간으로 모함에 정보를 제공함으로서 조기경보기로서의 역할을 수행할 수 있다. 이렇게 모함과 다양한 협동작전으로 군사우위의 정보획득과 이를 바탕으로 필요시 확실한 선제공격을 구사할 수 있다. 이를 위해 UUV는 수동음향센서(개구형 또는 예인형)와 초기 탐색 및 추적을 위하여 비음향센서(광학센서 등), 장애물회피 또는 근접추적을 위한 근거리 고주파 저피탐 음향센서 등을 탑재해야 하며, 광범위 통신을 위하여 수중음향통신, RF 및 인공위성통신, 특히 추적을 지속적으로 수행하기 위하여 되감을 수 있는 광섬유 부유식 위성통신장비도 필요하다. 궁극적으로는 잠수함 헌터(hunter)가 되고, 다음으로 UUV 헌터가 되며, 최종적으로 탑재된 무장으로 공격하여 적 함정을 무력화하는 것이다.

○통신/항해 망노드(network node) : 원거리 통신이나 네트워크 능력 없이 UUV에 무장이나 임무장비를 탑재하여 운용하는 것은 해군의 입장에서는 결코 바람직하지 않다. 잠수함처럼 UUV도 수중/수상 네트워크와 연결되어 거의 실시간으로 전략적인 상황을 획득해야 한다. UUV는 유무인의 여러 가지 플랫폼들 사이에서 수중, 해상, 공중 및 우주의 영역까지 통신망 연결 노드로서 중계역할을 수행하는 것이다.

항해지원으로서 UUV는 수상에서 부표처럼 또는 수중에서 기점(way point)처럼 지정된 위치에 자신을 위치시키고 상륙작전 또는 기타 특수전요원, 함정, 잠수함 등에게 기준점을 제공하는 것이다. 궁극적으로 UUV를 이동형 네트워크를 구성하여 수중으로까지 GPS 확장이다.

○무장공격 : UUV는 첨단 센서와 무장(어뢰, 유도탄, 초공동무기, 소형무인체계 등)을 탑재하여 고도의 ISR 및 대잠전을 수행함으로서 적 함정의 탐색, 추적, 피아 식별 및 공격임무까지 자율적으로 수행하는 것이다. 공중에서 무인전투기(UCAV)처럼 이러한 무인전투잠수정(UCUV: Unmanned Combat Underwater Vehicle)이 실현될 경우 미래 해상/수중 전장 환경은 크게 변화될 것이다.

Ⅳ. 국내 · 외 UUV 개발 현황

1. 국외

먼저 UUV의 개발역사를 살펴보고자 한다. 엄밀하게 말하자면 어뢰도 UUV의 일종이다. 그러나 여기서는 사람이 탑승하는 유인 잠수함/정에 대비하여 무인화된 잠수정을 UUV로 통칭한다.

이러한 측면에서 최초 UUV는 1960년대 미해군이 스페인 Palomares 해역 해저 868m 수심에 분실한 수소폭탄을 회수하기 위하여 사용된 그림 3의 CURV이다. 당시에는 에너지원, 센서, 제어 및 컴퓨터 등 제반 기술이 부족하여 제한된 특수용도로만 운용하였다.

1980년대에 이르러 모함으로부터 전원과 제어신호를 공급받아 원격으로 운용되는 ROV(Remotely Operated Vehicle)형태의 UUV개발 및 운용의 전성시대를 맞이했다. 그러나 모함 간에 연결 케이블로 인하여 운용거리 및 원활한 기동에 많은 제약을 받

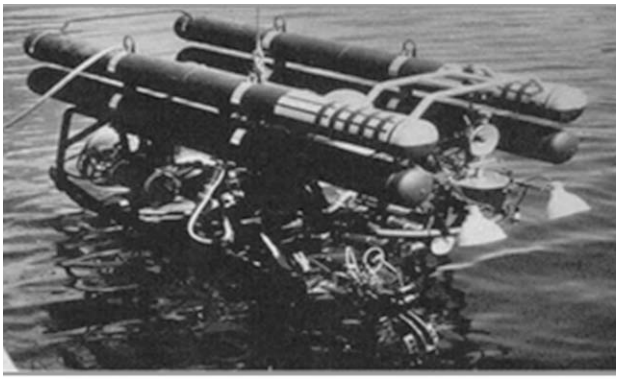

그림 3. 미국 CURV(1958년).

그림 4. UUV 종류.

았다.

1990년대에 이르러 비로소 제반 기술이 획기적으로 발전되어 모함 간에 케이블 없이 자율로 운항하는 AUV (Autonomous Underwater Vehicle)형태의 UUV 개발 전성기를 이루었다. 그리고 AUV 및 ROV 등을 포함하여 UUV로 통칭하나 본고에서는 좁은 의미로 AUV만을 UUV로 고려하기로 한다.

2000년대에는 이러한 UUV의 운용성 증대를 위한 센서 소형화, 에너지원 고밀도화 및 자율수준 고도화 등의 연구에 주력하고 있다. '09년 기준으로 그림 4와 같이 약20여개 국가에서 다양한 종류로 600여기 이상의 UUV가 개발되었으며, 군사용은 약 49%로 점차 증가되는 추세이다. 국가별 UUV 개발 동향은 다음과 같다.

그림 5. 미국 LMRS.

1.1 미국

미국은 가장 선도적으로 UUV를 개발 및 운용하고 있는 국가이다. 1996년에 군사용으로 최초 NMRS가 개발된 이래로 2006년도에 21인치 LMRS를 개발하여 잠수함의 어뢰발사관을 이용 진수/회수하여 연안 작전 시 대기뢰전 및 정찰/감시 임무용으로 SSN-768 핵잠수함에 탑재되어 시험운용하고 있다. LMRS를 대체할 MRUUV('04-'13)계획이 수중체재 및 자율제어 능력 부족으로 '08년도에 중단되고, 대신에 핵심기술개발을 고려하여 LDUUV 프로그램을 착수하였다.

미해군은 2008년부터 ONR 주관으로 수중에서 70일 이상 체류할 수 있는 고에너지원, 인간 중재 없이 연안에서 ISR, ASW 등의 임무를 수행할 수 있는 고수준의 자율제어 및 신뢰도를 갖는 대형 UUV의 플렛폼인 LDUUV 개발이다.

미해군은 '99년도에 NUWC주관으로 무장을 탑재하여 공격이 가능한 MANTA를 개발하였다. '02년도까지 소형UUV, 중어뢰, 길이 50m의 예인 배열 소나 등을 각각 탑재하여 30여회 이상의 기술시험을 수행한 바 있다. 이후에 MTV-II를 새로이 개발하였으나 추가로 알려진 내용은 없다.

또한 미해군은 2006년도에 Bluefin Robotics사로부터 BPAUV(Bluefin-21)를 인도받아 '08년 LCS연안전투함에 기뢰탐색용으로 실전배치했다.

ONR 주관 하에 새로운 대잠전 운용개념으로 PLUSNet 프로그램이 추진되고 있다. 표1과 같이 Seahorse의 대형 UUV와 여러 종류의 소형 UUV로 네트웍을 구성하여 침투하는 잠수함을 자

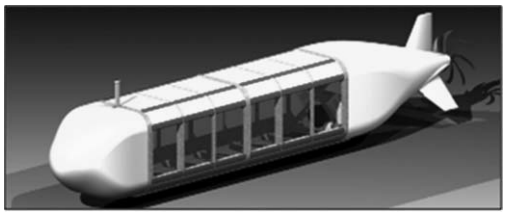

그림 6. 미국 LDUUV.

그림 7. 미국 MTV-II.

그림 8. 미국 BPAUV.

동으로 탐지/분류/위치추정/추적(Detection, Classification, Localization and Tracking: DCLT)을 수행하는 운용개념이다.

미해군의 항모전단이 작전해야 할 연안[100x100NM]에서 정숙화된 재래식 잠수함을 방어하기 위한 것으로 '05년도에 착수하여 '07년도에 1차 시험을 수행한 바 있다.

1.2 유럽

유럽은 영국, 프랑스, 독일, 노르웨이, 스웨덴 등 많은 국가들이 컨소시움 또는 단독으로 UUV 개발을 추진하고 있다.

○ 영국 : QinetiQ 및 BAE사에서 '98-'01년까지 연안에서 은밀히 ISR 임무를 수행하도록 잠수함 탑재용 21"형 UUV인 Marlin을 개발하였다. 이후에 BAE사는 '05년도 Talisman UUV를자체 투자로 개발하여 '08년도에 소모성(One-shot) 기뢰처리기인

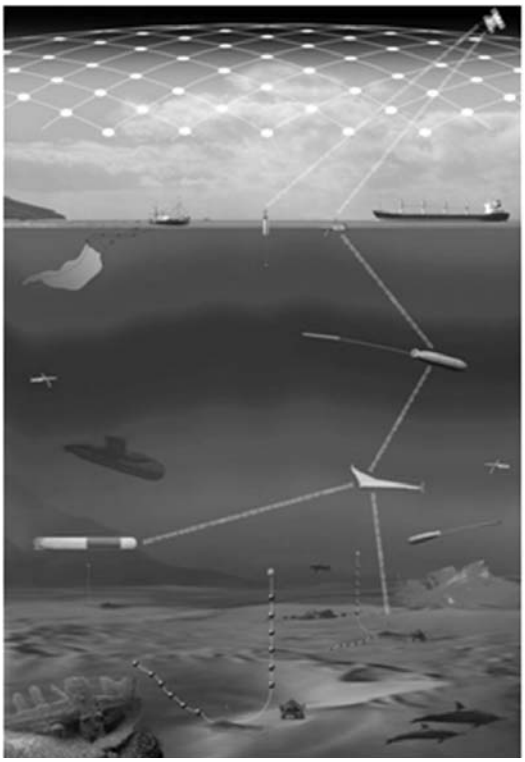

그림 9. 미국 PLUSNet.

표 1. PLUSNet에 적용된 UUV.

장비명	Seahorse	Bluefin-21(2종류)	Seaglider 외
개발기관	ARL/Penn. State	Bluefin Robotics사	APL/ Whashington대
길이	28ft(8.4m)	15ft(4.57m)	1.8m
직경	38"(0.96m)	21"(0.53m)	0.3m(Wing1.0m)
중량	5.0tons	340kg	52kg
속도	~6kts	~5kts	~0.5kt
운용수심	300m	200m	1,000m
수중체재	125h at 4kts (Alkaline전지)	30h(순항속도)	200 days
센서 및 기타	수동 배열소나 (Texas대)	길이100m, 저주파(1kHz이하) 예인배열/고주파 (7kHz)노즈배열	CTD, RF/음향통신 Gateway기능, GPS

Archerfish를 탑재하여 기뢰탐색 및 제거를 동시에 수행할 수 있는 획기적인 대기뢰전의 운용개념을 시연하였으며, 향후에 적용될 ISR, ASW 등의 운용개념도 제시하였다.

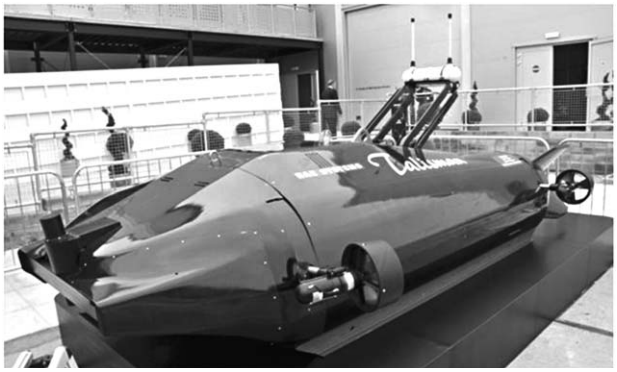

그림 10. 영국 BAE사 Talisman.

그림 11. 프랑스 ASM-X.

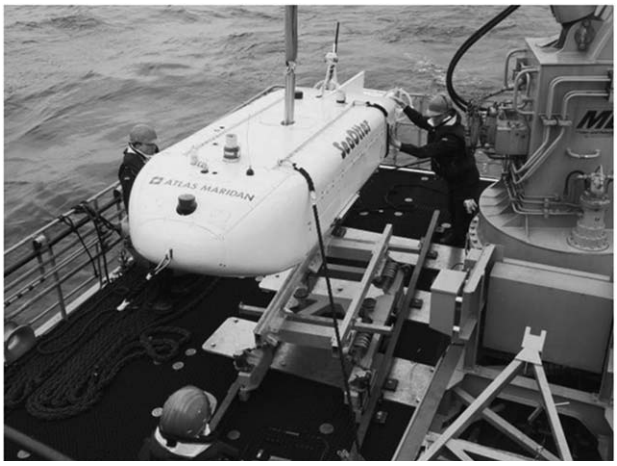

그림 12. 독일 ATLAS사의 SeaOtter.

○프랑스 : DCNS는 잠수함의 어뢰발사관에서 진수/회수할 수 있는 ASM-X UUV개발을 '07년에 처음으로 공개하였다. Barracuda 핵잠수함에 탑재하여 MCM, ISR 및 연안에서 특수전 등으로 잠수함의 작전 능력이 크게 확대하게 될 것으로 전망된다.

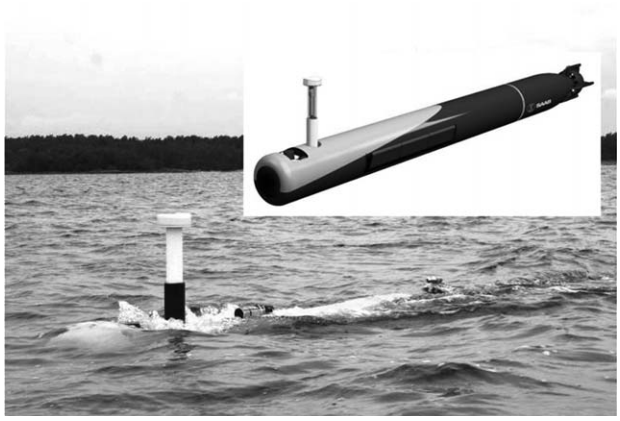

그림 13. 스웨덴 SAAB사의 AUV-62.

그림 14. 노르웨이 Hugin-1000.

○독일 : ATLAS사는 Seafox, SeaOtter(네델란드 구 Maridan사) 계열로 MCM, ISR, ASW용 등으로 지속적인 연구개발을 추진하고 있다. 특히 Seafox(one-shot 무인기뢰처리기)는 '98년도에 개발되어 '10년 기준으로 2,000기 이상 생산 판매되었다.

○스웨덴 : FOI와 SAAB사에 의해 2000년도에 어뢰-62를 기본으로 AUV-62F를 개발하여 스웨덴 해군에 인도하였으며, '06년 4월에 ROV형태의 SUBROV로 잠수함의 어뢰발사관으로 회수하는데 성공하였다. 최근에 QinetiQ사의 합성개구면소나를 탑재하여 탐지 성능이 크게 향상된 AUV-62 MR(Sapphires UUV)을 개발하였다.

○노르웨이 : 노르웨이 해군은 FFI와 Kongsberg사에 의해 개발된 Hugin-1000MR을 '08년도에 실전배치하였고, 고분해능(200m 거리에서 3x3cm 크기의 물체 식별) 합성개구소나(Synthetic Aperture Sonar)를 세계 최초 실용 적용하였다. 본 시스템은 '09년도에 한국(ADD) · 노르웨이(FFI)간에 국제협력의 일환으로 한국 해역에서 그림 14와 같이 해상시험을 시연한 바 있다.

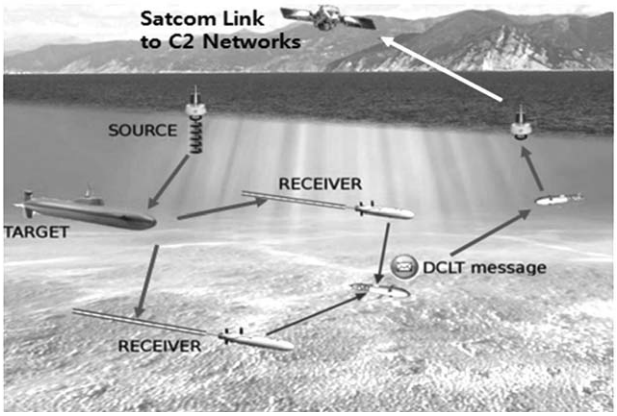

그림 15. NURC의 CASW 운용개념도.

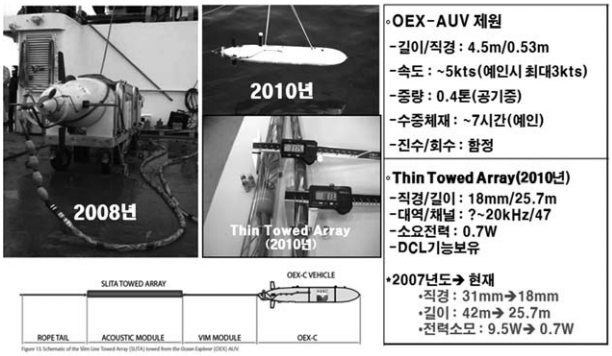

그림 16. NURC의 OEX-AUV 및 세장형 예인 배열.

Kongsberg사는 소모용 기뢰처리기인 Minesniper와 Hugin-1000MR을 이용하여 기뢰 탐색, 분류, 식별 및 제거를 일괄적으로 종합 처리할 수 있는 MCM 전투체계(MICOS Mk2)를 완성하였다.

○이태리 : 최근 유럽은 NATO 산하 이태리 NURC 연구소에서 대잠전을 위한 CASW(Cooperative ASW)프로그램을 착수하였다. GLINT라는 이름으로 '08, ' 09, '10, ' 11년 각각 대잠전 관련 시험을 수행한 바 있다. 대잠전 운용개념은 그림 15와 같이 다중상태(multi-static)소나 방식으로 연안에서 가장 위협적인 잠수함을 방어하기 위하여 2대의 UUV on-board상에서 탐지/분류/위치추정/추적(DCLT)를 수행하여 협력적으로 대잠작전을 수행하는 것이다.

CASW프로그램에 적용된 2대의 OEX-AUV에 그림 16과 같이 세장형 예인 배열 소나(길이 25.7m, 직경 18mm)를 가각 탑재하여 운용하였다. '09GLINT 시연에서 수심 300m 해역에서 최대 수심100m, 최대 3노트로 7시간까지 세장형 예인배열소나를 탑재한 OEX-AUV를 운용하였으며, ' 11GLINT 시연에서는 본 과제의 주요 목적인 2대 UUV의 on-board 상에서 실시간으로 다중

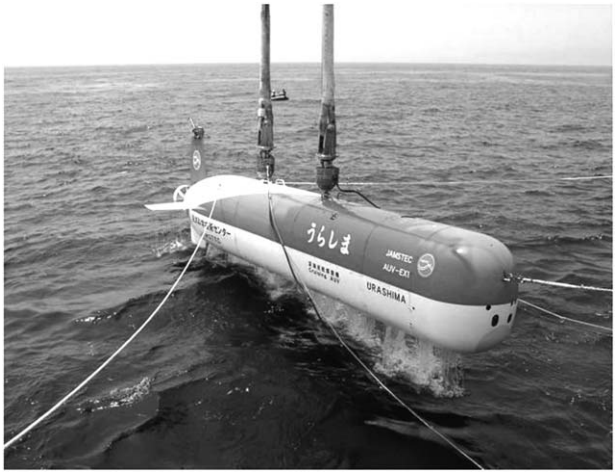

그림 17. 일본 URASHIMA.

상태 소나신호처리를 수행하고 협력적으로 표적을 추적하는데 성공하였다. 이것은 그동안 전통적으로 운용해왔던 대형함정과 센서 패키지를 수중 100m에서 운용되는 작은 규모의 UUV로 대치될 수 있다는 혁신적인 의미가 된다.

1.3 아시아

아시아는 1990년대 초기에는 일본이 후반에 중국이 개발에 참여하였고, 2000년 이후에는 싱가폴, 인도, 인도네시아 등 여러 국가들이 UUV개발을 추진하고 있다.

○일본 : 산업체, 학계 등에서 일본 정부 관공청용으로 '96년도에 폐회로 디젤엔진을 탑재한 R1-UUV을 개발하였다. 1998년도에 일본해양연구소(JAMSTEC)에서 Payload가 최대 200kg, 항주거리(연료전지 사용) 300km 이상인 Urashima UUV를 개발하였고, 최근에 북극 빙하 해저 탐사를 위하여 장기간 수중 체류할 수 있는 Urashima-II UUV를 개발하고 있는 것으로 알려져 있다.

군사용으로는 일본 TRDI 주관으로 다목적용으로 운용할 수 있는 UUV/USV('08-'13, 60억엔)개발을 수행 중에 있다. 방위성 구상으론 UUV와 USV을 네트워화해 무장공작선의 추적, 기뢰의 수색과 제거, 해저 조사 외에 도서 지역 침공과 항만-연안의 게릴라와 특수부대 침입 감시 등에 활용할 방침이다. 연구 대상은 수중통신 기술과 자율제어 및 협력제어기술 등으로 2013년까지 운용 실증실험을 완료한 다음 해상자위대에 실전 배치를 목표로 하고 있다.

중국은 러시아 IMTP 연구소와 기술협력으로 1995년도에 6,000급 CR-1을 개발하였으며, 이를 기반으로 성능을 개선시켜 2000년도에 CR-2 UUV를 각각 개발하였으나 '08년도에 완전한

그림 18. 일본 TRDI UUV/USV.

그림 19. 중국 CR-02 UUV.

성능 시험을 수행한 것으로 알려졌고, 향후 7,000m급 UUV를 개발 중에 있다. 용도는 과학탐사 뿐만 아니라 향후 해군의 잠수함부대에서 해양정보수집 및 구조 임무 등으로도 운용될 수 있을 것으로 예상된다.

2. 국내

국내 UUV 개발은 1990년 초기에 시작되었으나 대부분 연구용 또는 산업용으로 개발되었으며, 군사용으로는 2000년도 후반부터 추진되고 있다.

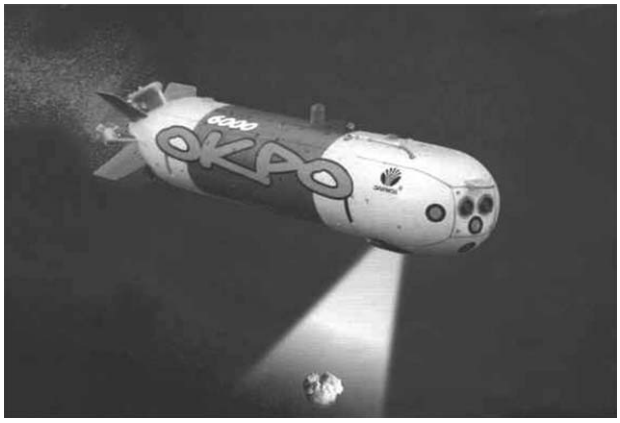

그림 20. 대우조선 OKPO-6000.

그림 21. KIOST의 VORAM.

그림 22. ADD의 FRM.

국내 최초 UUV 개발은 1996년에 대우조선해양(주)가 자체 투자로 러시아 IMTP의 기술을 이전 받아 6,000m 심해 탐사가 가능한 OKPO-6000이다.

이어서 한국해양과학기술원(KIOST)이 1997년도에 VORAM AUV를 연구용으로 개발하였다. 다음으로 국방과학연구소(ADD)는 1998년도에 응용연구로 잠수함 모형시험용으로 FRM을 개발하였으며, '98년,' 99년도에 호수시험을 수행하였다.

한국해양과학기술원 및 대양전기공업(주)가 '99~' 03년까지

그림 23. KIOST/대양전기(주) SAUV.

그림 24. KIOST/대양전기(주) MDV.

그림 25. KIOST의 해미래.

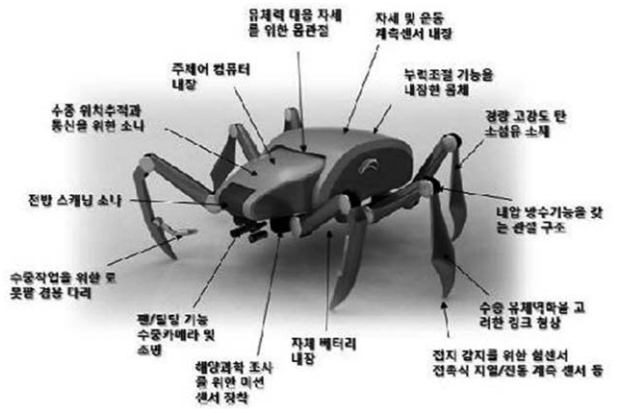

그림 26. KIOST의 해저다관절로봇.

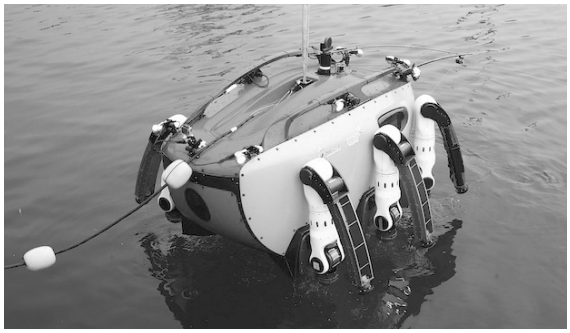

그림 27. 한국원자력연구원 ROV.

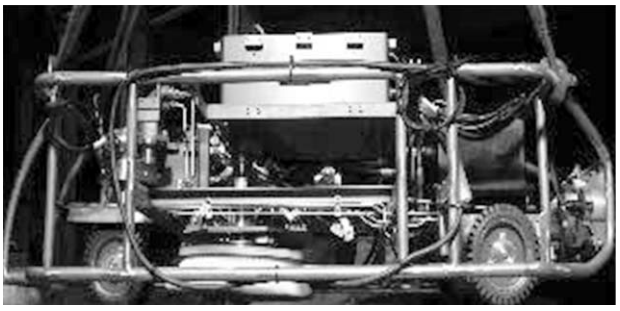

그림 28. 대우조선/대원기전 수중청소로봇.

그림 29. 서울대 SNUUV-I.

그림 30. 한국해양대 AUV.

민군겸용과제로 무인기뢰처리기(Mine Disposal Vehicle : MDV)로 활용될 수 있는 연구용 SAUV를 개발하였으며, 방위사업청이 주관하는 '자율항해 무인기뢰처리기(MDV)개발' 사업

그림 31. 포항지능로봇연구소의 P-SURO.

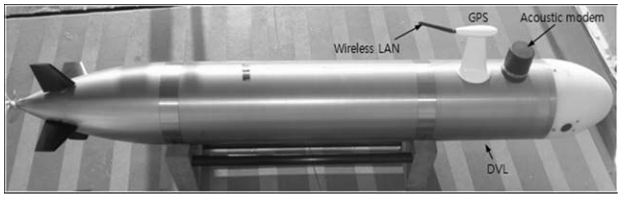

그림 32. (주)한화 이심이-II.

그림 33. 삼성탈레스 Thales's M&K.

그림 34. 대우조선 OKPO-300.

그림 35. 한화(주)의 군사용 AUV.

('08~'12)을 완료하였고, '01-' 07년 기간에 해수부 의 6,000급 심해 탐사용 ROV인 '해미래'를 개발하였다. 최근에 한국해양과학기술원은 해부수 과제로 잠수부가 들어갈 수 없는 곳에 구조활동과 탐사활동을 펼칠 수 있는 해저 다관절 로봇을 개발('10-'15) 중에 있다.

이외에 한국원자력연구원(KAERI)은 원자로 내부검사 및 정비를 위하여 방사성이 있는 특수한 환경에서도 운용될 될 수 있는 산업용 ROV를 개발하여 운용하고 있다.

최근에 대우조선해양(주) 및 대원기전(주)에서 선박의 선체를 수중에서 청소할 수 있는 수중로봇을 개발한바 있다.

학계에서는 서울대 해양공학연구실에서 학계최초로 '03년도에 SNUUV-1을 개발하여 시험수조에서 실험을 수행한 바 있다. 한국해양대학교에서 '11년도에 AUV를 개발하여 실해역에서 시험을 수행하였다. 포항공대 포항지능로봇연구소에서 '11년도에 P-SURO를 개발하여 수중에서 시연한 바 있다.

2000년도 이후에 산업계에서도 활발히 UUV 연구개발이 수행되었는데, (주)한화는 한국해양기술원으로부터 기술이전을 받아 '이심이-2' 개발, (주)삼성탈레스는 자체연구로 M&K 와 Boto를 개발, (주)대우조선에서 OKPO-300을 개발하여 각각 2011년 5월 수중로봇기술연구회 춘계학술대회 때 실해역에서 공개적으로 시연한 바 있다.

군사용으로 최초 AUV 개발은 방위사업청 주관 ACTD 과제인 "수중탐색용 자율무인잠수정" 사업이 2011년도 11월에 (주)한화와 계약 체결하여 개발 중에 있다.

국내 연구현황은 민간 연구소, 산업체 및 학계에서 수중로봇에 많은 관심을 갖고 최근에 활발한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 아직 개발 중이라 실용화하여 운용되고 있는 UUV는 없는 상태이나 2010년대 후반에 소요군의 소요로 먼저 전력화되면 그 후에 산업용 및 과학용 등으로 실용화 될 것으로 예상된다.

Ⅴ. UUV 핵심기술

UUV기술은 어뢰나 잠수함과 공통된 기술도 있고, 그러나 UUV로서 고유의 특징적인 기술들이 요구되는데 예로 수중에서 장기 체류하기 위한 고밀도 에너지원 개발, 인간의 개입이나 중재 없이 모든 일을 스스로 판단하고 결정하여 임무를 수행할 수 있는 고수준의 자율제어기술, 장기간 작동해도 고장이 나지 않거나 고장극복 능력이 뛰어난 고신뢰도 설계 기술, 수중에서 운용 중 분실이 우려되는 수중 장애물로 어망회피 기술 등과 같이 매우 도전적이고 다양한 기술들이 요구되고 있다. 최근 활발히 연구되고 있는 UUV 관련 핵심기술들은 다음과 같다.

○수중장기체재를 위한 고밀도 에너지원

UUV는 추진을 위해 충분한 출력을 가져야하고, 원거리에서 광범위한 임무를 수행하기 위해서 센서 및 통신에 필요한 전력을 제공해 주어야 한다. 현재 UUV 추진을 위해서 Lithium thionyl chloride 1차 전지, Li-ion 계열 2차 전지, 반연료전지(Semi-Fuel

Cell), 연료전지(Fuel Cell), 폐회로 디젤엔진, 스터링엔진, 소형 원자로 등 다양한 에너지원들이 검토되고 있다.

이처럼 기존 에너지원이 많이 있지만 탑재 모함(잠수함, 수상함, 항공기, 헬기 등)과 승조원에게 안전을 보장하면서 동시에 진수/회수에 문제가 없어야 한다.

기존 재래식 잠수함에서 운용하고 있는 AIP (Air Independent Propulsion) 추진 장치나 기타 장치들이 검토되고 있는데 완전한 해결책은 아직도 연구 중에 있다. 기존 대부분의 방법들은 가격이 너무 고가이거나, 중량 또는 잡음이 크거나, 불충분한 전력 또는 과도한 복잡성으로 인해 소형의 UUV 플랫폼에 그대로 적용하기에는 적합지 않기 때문이다.

이러한 이유 때문에 UUV는 저속의 순항속도로 운항하여 최대한 원거리로 이동해야 하며, 임무수행 시 센서를 위한 충분한 전력을 공급해야 하고, 귀환 후에 적어도 10% 정도의 여유를 갖고 모함에 회수될 수 있어야 한다.

○ 전장에서 수행 가능한 센서/임무장비

UUV가 수중에서 임무를 수행할 때 임무에 따른 적절한 탐지센서들이 탑재되어야 한다. 잠수함이나 수상함에서 탑재 가능한 정밀 음향탐지센서들을 UUV에 적용 시 탑재공간이나 소요전력 등의 문제로 대부분 그대로 사용하는 것이 어렵다. 이러한 UUV를 위한 센서기술들이 최근에 많이 연구되고 있다.

원거리에서도 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 합성개구면 소나(Synthetic Aperture Sonar : SAS) 개발이다. 사이드 스켄 소나는 해저의 일정지점에서 단일 신호를 송수신하지만 SAS는 항공기의 SAR처럼 앞으로 움직여 나가면서 동일한 지점을 반복적으로 훑는다. 이렇게 하면 개구면이 커져서 작은 물체에 대한 고해상도 영상을 얻을 수 있다. 최근 개발사례로 노르웨이 Hugin-1000MR 경우에 200m거리에서 3cm×3cm 크기의 작은 물체까지도 식별할 수 있는 SAS가 탑재되었다. 향후 SAS는 정밀한 영상을 제공해주기 때문에 자동 탐지/식별(CAD/CAC) 개발에 필수장비가 될 것이다.

다음으로 파라메트릭 소나(Parametric Sonar) 개발이다. 파라메트릭 소나는 크기가 작아서 UUV에 탑재하기가 용이하다. 그리고 주요 특성은 좁은 빔폭과 낮은 부엽준위를 가짐으로 고분해능 및 신호대 잡음비가 높고, 저주파 특성으로 인해 표적 내부 및 해저층 투과성이 탁월하여 천해에서 매몰된 기뢰나 저속의 소형 잠수함/정을 탐지/식별하는데 용이할 것으로 예상된다.

UUV에 탑재 운용을 위한 대잠전용 세장형 예인 배열 소나(thin towed array sonar) 개발이다. 미국이 최근에 천해에서 수십 Km이상에서 잠수함을 탐지/분류/식별할 수 있는 UUV/USV용 소형 예인배열소나(compact TASS) 개발에 착수하였다. 실험적으로 미국 PLUSNet에 적용된 Bluefin-21 UUV 및 NURC의 CASW에 적용된 OEX-AUV에 각각 예인 배열 소나를 탑재하여 대잠전에 적용하였다. 이외에도 미국은 UUV의 선체표면을 센서로 고려하는 Conformal Array로서 미국의 대형 UUV인 Seahorse 및 MTV-II 에 적용한 초기 단계의 Smart Skin 소나 개발이다.

끝으로 UUV의 on-board상에서 음향센서의 획득 데이터로 부터 자동 실시간 탐지, 분류, 위치추정 및 추적할 수 있는 고지능형 신호처리기술이다. 본 기술이 실용화되면 정밀 소나센서와 결합으로 수중에서 대기뢰전, 대잠전, 정찰감시 등에서 군사적으로 획기적인 진전이 예상된다.

○ 자율 임무 관리 및 정밀 항해

또 다른 UUV의 어려움은 자율제어인데, 이것은 미래의 UUV가 갖추어야 할 핵심 열쇠이다. UUV는 원거리를 이동한 후에 사람의 직접적인 개입 없이도 자율적으로 위협을 탐지, 획득, 회피 또는 제거, 기타 주어진 임무를 자기 스스로 수행해야 한다.

항해 도중이나 임무 수행 중에 자신의 건전성을 실시간으로 점검하고 오류나 고장이 발생 시 자율로 고장배제 또는 복구할 수 있는 능력을 가져야 한다. 특히 수중에서 UUV를 운용 중에 외부 요인으로 인하여 분실할 수 있는 확률이 가장 높은 물체는 어망으로 예상된다. '11년도 미국 ONR은 LDUUV의 Autonomy 개발 과제의 공모 중에서 어망을 회피하는 기술개발을 요구하였다. 특히 국내 연안에는 어부들이 사용하다가 버린 다양한 종류의 어망이 많다. 어망을 사전에 탐지할 수 있는 센서와 이를 회피하기 위한 기술이 중요하다.

그리고 개방 구조에서 표준화 소프트웨어 모듈 및 적응 학습하는 소프트웨어 개발은 기 개발된 모듈의 재활용성 향상과 향후 자율성 발전 가능성을 크게 증대시켜 줄 것이다. 특히 표준화된 인터페이스는 타 무기체계와 정보를 공유하면서 서로 협력하는 능력을 갖추는 것이다.

그 다음에 이러한 자율 항해를 원활하게 하기 위해서는 정밀한 항해기술이 반드시 확보되어야 한다. 기존의 관성항법기술에서 다음의 보조항법을 결합하는 수중종합항법 기술 적용이다. 해저면에서 반사되는 음향신호를 이용하여 자신 속도를 측정하는 도플러 속도계(DVL : Doppler Velocity Logger)로 해류에 대한 항법오차를 크게 줄일 수 있다. 그리고 장시간 수중항해 시 위치오차 보정을 위하여 해상으로 부상하여 GPS를 이용할 수 있지만 적 연안에서는 적으로부터 포착될 위험이 있다. 이를

극복하기 위하여 해저음향지도, 자기지도, 중력지도 등의 DB를 이용하여 자신의 정확한 위치를 보정하는 지형 대조 항법 적용이다. 특히 음파를 사용하지 않는 자기나 중력 센서를 이용하면 은밀 항해가 가능해진다. DB가 없을 경우 동시에 매핑하면서 위치파악을 위한 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 기술도 필요하다.

○ 통신 및 네트워크

자율운항 만큼이나 중요한 것이 광범위 네트워크의 노드(Node)로서 운용되는 것이며, 인터넷 시스템은 수중에서도 적용가능하게 될 것이다.

수중에서 음파는 산란 및 감쇄로 인해 음원 소스로부터 멀어질수록 또한 주파수가 높을수록 약해질 수밖에 없다. 수중통신으로 구현 가능한 통신거리 및 속도는 아래와 같이 제시되고 있다.

수중통신 : 거리(Km) × 통신속도(Kbps) ≤ 100

즉, 10kbps경우 10km, 1kbps경우 100km까지 가능하다는 의미이다.

수중음향통신은 통신거리와 통신 속도 등에 제한이 있음으로 이를 극복하고 실시간 고속통신을 위해서는 광섬유를 이용한 광케이블통신을 적용하는 것이다. 광케이블 통신에 의한 모함 간에 실시간 양방향 광통신은 현재 50km 이상으로 구현 가능하다.

가장 많이 선호되는 통신은 위성통신이다. 위성통신 링크를 사용해서 모함으로 정보를 송수신할 수 있다. 한편 네트웍과 대역폭의 제한을 극복하기 위하여 UUV의 마스트에 탑재된 위성통신기 뿐만 아니라 광케이블 통신 브이를 고려하는 것이다. 이러한 광케이블 통신 브이를 사용함으로서 수중에서 수상함, 타 무인체계와도 네트웍이 가능하다.

상기에 언급된 음향통신, 광케이블통신, 위성통신 등을 용합하여 NCW기반 수중, 해상, 공중, 우주, 지상기지 간에 통합작전이 가능하게 될 것이다.

○ 상호운용성 및 신뢰도

미래 전장 환경은 더 이상 독립적으로 운용되는 무인체계를 수용하는 것이 어렵게 될 것이다. 즉 상호운용성(interoperability)의 확장이다. 정보, 센서, 임무장비 및 플랫폼을 네트웍으로 공유해야 할 필요는 점차 현실화 되고 있다. 상호운용성이 향상되면 궁극적으로 협동작전(joint operation)을 위한 타 무기체계 간에 통합이 쉽게 이루어질 뿐만 아니라 효율적인 통합작전으로 전투력이 배가되며, 또한 표준화에 따른 군수지원이 용이하여 무인체계 운용비용이 크게 감소된다. 이를 위하여 시스템 개발자는 각 무기체계 간에 연동방식을 표준화해야 하고, 유연한 연동을 위하여 개방 아키텍처로 가야한다.

또한 무인체계에 있어서 무엇보다 중요한 것은 신뢰도이다. 장기간 작전에 투입되어 임무를 수행하는 동안 고장 등으로 인한 시스템에 문제가 발생되지 않도록 고신뢰도와 여유도(redundancy)를 가져야 하며, 고장 발생 시 이를 실시간 진단하여 고장 배제하거나 복구할 수 있도록 다양한 고장에 대비한 기술이 필요하다. 이를 통한 시스템의 고신뢰도화 연구가 필수적으로 이루어져야 한다.

Ⅵ. 체계 및 핵심기술 확보 전략

최근 세계적 발전 추세를 고려할 때 미국은 선도적으로 지속적인 연구개발로 높은 성능수준의 LMRS 무인잠수정 체계를 개발하여 LA급 및 Virginia급 원자력 잠수함에 운용하고 있으며, 향후 수중 장기 체류할 수 있는 새로운 에너지원 및 고수준의 자율제어를 고려한 LDUUV개발과 함께 먼 미래 무인전투용 Manta UUV를 연구 개발을 추진하고 있다.

그동안 미국은 어느 국가도 경험하지 못한 새로운 연구개발로 많은 시행착오로 경험하였으며, 장기간의 개발과 많은 예산이 소요되었다. 이러한 시행착오 줄이고 표준화된 S/W & H/W 개발을 위하여 1차 및 2차에 걸쳐 UUV Master Plan을 제시하게 되었다. 또한 MRUUV 프로그램('04-' 13)을 착수하였으나 수중체재능력 및 자율제어능력 등의 기술 미성숙으로 '08년도에 중단하면서 새로운 어려움에 봉착한 바 있었다. 이러한 미국이 경험한 교훈으로부터 UUV의 효율적인 국내 연구개발 및 체계획득을 위해서 다음과 같이 제안한다.

첫째로 임무별 다양한 UUV체계의 운용개념 및 로드맵을 정립해야 된다. 미래 수중 NCW기반 하에서 모함의 함외(Off-board) 센서, 통신 노드 및 공격기로서 활용이 가능한 UUV와 유인체계 간에 협동작전을 위한 전략과 전술개념 확립을 위한 운용개념 분석이다.

둘째로, UUV 체계개발은 국내 기술 성숙도 따라 단계적으로 추진하는 것이 필요하다. 국내 기술 인프라를 토대로 초기에는 단기간 수중체류로 임무수행이 가능한 소형급 UUV개발(현재 ACTD 과제로 추진 중에 있음)을 추진하고, 병행하여 장기간 수중체류가 가능한 대형급 UUV 개발을 추진한다. 이후에 유 · 무인체계들 간에 협력제어가 가능한 다중(multiple) UUV 개발이며, 마지막으로 무장을 탑재하여 적을 탐지/식별하여 공격할 수 있는 전투용 UUV개발을 추진하는 것이다. 전투용 UUV가 구현

되기 위해서는 음향탐지센서 관련 고지능화된 환경인식 및 표적식별이 on-board상에서 이루어져야 한다.

셋째로, 체계개발과 병행하여 핵심기술개발을 지속적으로 추진하는 것이 필요하다. 자율 운항 제어 기술은 과거 국내에서 민간연구소, 산업체 및 학계 쪽에서 각자 나름대로 연구하여 왔으나, 현재 아직도 미성숙된 기술로 판단된다. 그럼에도 불구하고 과거 수행된 사업과 중복으로 인하여 현재 자율제어 연구를 지속적으로 수행하기가 어려운 것이 현실이다. 이를 위하여 방위사업청 또는 타 전문기관 주관으로 무인체계의 자율제어에 대한 체계(공중/지상/해상)별로 임무별로 자율수준(level of autonomy)을 분류하여 정립하는 것이 필요하다. 참고로 UUV는 수중에서 운용 시 RF통신이 불가능하고, 그나마 가능한 음향통신은 수km 이내로 제한되며 낮은 통신 속도로 인하여 타 무인체계(UAV, UGV)에 비해 보다 높은 자율제어 수준이 요구된다.

Ⅶ. 결론

무인잠수정(UUV)은 함정, 잠수함, 항공기, 전투요원에 이르기까지 다양한 플렛폼에서 전개될 수 있고, 음향 및 자기신호 발생이 거의 없어 은밀성이 뛰어나며, 모함과 협동으로 정찰/감시(ISR), 대기뢰전(MCM), 대잠전(ASW), 통신 및 항해지원, 무장공격 등에 이르기까지 다양한 임무를 수행하게 되면 유인함정의 생존성 및 전투력이 크게 향상될 것이다.

최근 선진강국들의 UUV개발 동향을 종합하면 대기뢰전(MCM) 및 단기간의 ISR 경우에는 이미 실전 배치하여 운용하고 있는 단계이다. 또한 잠수함에 탑재하여 어뢰발사관을 이용하여 진수/회수할 수 있는 직경 21인치 UUV개발이 미국, 스웨덴 국가 등에서 시연된 바 있고 프랑스, 영국 등도 이에 대한 많은 관심을 갖고 개발을 추진하고 있다.

과거 대형 잠수함에서만 가능했던 대잠전(ASW)을 이제 UUV로 수행하고자 하는 연구가 이미 시작되었고 여러 시험을 통하여 가능성을 보여주고 있다. 미국 ONR의 PLUSNet, Seaweb이나 NATO 산하 NURC의 CASW 프로그램에 의해 이미 시연된 바 있다. 미국은 이를 효과적으로 구현하기 위하여 장기간 수중에서 체류할 수 있는 고에너지원을 탑재할 수 있는 대형 LDUUV 개발에 치중하고 있다. 향후 인간의 중재가 불필요한 고수준의 자율기술이 구현되면 장기간 수중 체류하면서 효과적인 MCM, ISR 및 ASW 임무를 수행하는 것이 가능해진다. 현 개발 기술 수준을 고려할 때 2020년 초에 대형급 UUV가 실전에 전력화될 것으로 예상된다. 또한 smart skin 형태의 고성능 탐지 센서기술과 수중 NCW 기반으로 2030년경에는 무인전투잠수정(UCUV)도 실전에 적용 가능할 것으로 보인다. 이렇게 되면 해상 전장 환경도 크게 변화될 것이며 기존의 해상/수중 유인무기체계가 크게 생존위협을 받게 될 것이다.

따라서 UUV 체계는 미래 해상 전장 환경에 대비하여 선택이 아닌 필수적으로 확보해야 될 무기체계이다. 한반도 광범위 해역을 기존 전력만으로 메우기에는 큰 비용이 소요될 것으로 예상되고, 현재 국내의 저 출산율로 인하여 인력 수급에도 큰 차질이 예상된다. 이를 해결하기 위한 대책의 일환으로 유인체계와 유기적으로 복합적으로 입체적으로 협동작전을 수행할 수 있는 무인체계를 반드시 고려해야 할 것이다.

그러나 현재 국내 UUV의 기술 수준으로는 갈 길이 멀다. 특히 군사용 UUV는 고신뢰성, 장기작전, 내환경성을 갖추어야 하고 상당한 기간과 인력을 투자해야하며, 필요시 해외 선진국과의 공동연구도 적극적으로 활용해야 한다.

참고문헌

[1] The Navy Unmanned Undersea Vehicle(UUV) Master Plan, U.S., 9 Nov., 2004

[2] LDUUV Innovative Naval Prototype Technology, ONRBAA Announcement #11-025, July 2011

[3] Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036, U.S., 2012

[4] Marc S. Stewart, John Pavlos, "A Means to Networked Persistent Undersea Surveillance," Dynamics Elevtric Boat, Submarine Technology Symposium 2006

[5] Tim Fish, "Data mules: The Sub-hunters' Autonomous Workhorse," Jane's Navy International, May 2010

[6] J. -L. Choi, et al, Military Robot Master Plan(Surface/Underwater), NSDC-115-050217, Feb. 2005

저 자 약 력

최 중 락

· 1977년 고려대 전자공과 졸업.
· 1987년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 석사.
· 1997년 부산대학교 대학원 전기공학과 박사.
· 1978년~현재 국방과학연구소 수석연구원.
· ICROS 평의원. 한국수중로봇기술연구회 3대,6대 회장 역임.
· 관심분야 : 수중로봇 자율제어.