

# 자율무인잠수정 운항기술 발전 동향

자율무인잠수정(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)은 미국을 중심으로 1980년대부터 다양한 수중관련 기술의 발전과, 민군의 사용분야가 증가되면서 급속한 발전의 진전을 보였다. 특히, 과학기술의 발전과 군의 전투개념 변화로 요구되는 무기체계도 급속히 변화되면서 자율무인잠수정이 핵심무기체계로 부상하게 되었다. 군에서 효율적 전장 관리와 사회의 인명 중시 경향은 무기체계를 유인시스템에서 무인화 시스템으로 전환 시키고 있다. 자율무인잠수정은 심해저 자원탐사, 해양조사 등 민수분야뿐만 아니라 해군의 정보전, 기뢰전, 그리고 대잠전과 같은 성분작전에서 핵심적 역할을 수행하게 되었다. 본 기고에서는 1994년부터 자율무인잠수정 종합발전 계획을 수립하여 개발하고 있는 미 해군 운용개념을 분석하고 분석된 결과를 기초로 하여 미래 우리 해군에서 자율무인잠수정의 개발 및 운용을 위하여 필요한 핵심 기술을 자율제어, 센서 및 신호처리, 진수 및 회수, 수중항법, 수중통신, 그리고 에너지 등으로 구분하고 각각에 대하여 기술발전 동향을 고찰하고 기술개발을 제안하였다.

■ 서주노\*\*, 김도완\*\*\*, 이호재\*

(\*인하대학교 전자공학부, \*\*해군사관학교 기계조선공학과, \*\*\*한밭대학교 전자공학부)

## I. 서론

과학기술의 발달과 군의 전투개념의 변화에 따라 요구되는 무기체계도 급격하게 변화되고 있으며 그 중심에는 무인체계(Unmanned System)가 있다. 현재는 기술 환경적 제약으로 무인체계가 미국을 비롯한 일부 군사 선진국에서 운용되고 있지만, 은밀성과 생존성이 뛰어나고, 저렴한 운용비, 사회의 인명 중시 풍조에 따라 발전 속도가 빠르게 진행되고 있으며 활용범위도 공중 및 지상에서 수상과 수중 그리고 우주까지 확대되고 있는 실정이다 [1-5]. 특히, 정보통신 기술과 네트워크 보급은 군 전투개념을 네트워크 중심전(Network Centric Warfare)으로 변화시켜 전투의 효율을 극대화하는 방향으로 전환되고 있다. 코소보 전쟁과 이라크 전쟁의 결과에서 알 수 있듯이 네트워크 중심전에서 정보 수집은 공중, 지상 및 해상에서 무인체계가 대부분의 역할을 담당 하였다.

미 해군은 수상함과 잠수함 전력을 건설함에 있어서도 전통적 방법인 무기체계별 고유 임무부과 방식에서 다양한 임무를 수행할 수 있도록 모듈(Reconfiguration) 특성화 방식으로 변화되

고 있다. 기뢰전, 대잠전, 수상함전, 해상봉쇄, 특수운용 등 임무에 따라 서로 다른 무기체계가 탑재되고 운용되는 것이다 [5]. 이때에 사용되는 모듈 무기체계 시스템은 주로 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle), 무인함정(USV: Unmanned Surface Vehicle), 무인잠수정(UUV: Unmanned Underwater Vehicle) 등의 무인체계가 사용될 것으로 예상하고 있다. 미 해군의 전투개념이 대양에서 연안으로 변화됨으로 전통적 해군력이 접근하기 어려운 해역에서 탐색, 추적, 정보획득 및 교전 등과 같은 임무를 수행하기 위하여 스텔스화 되고 무인화된 무기체계를 더욱 요구하고 있다. 또한 미래 전장환경은 잠수함, 기뢰, 전술유도무기, 대량살상무기, 그리고 정보전과 같은 비대칭 무기체계에 의해 전통적 해군력이 접근하기 어려운 해역이 점차 증가될 것이며, 우주에 기반을 둔 감시 네트워크, 장거리 정밀타격 무기, 지휘통제체계를 사용하는 적군에 의해서 해군력의 투사를 가능하게 하는 연안작전이 심하게 위협을 받을 수 있는 상황이 될 것이다. 이러한 상황에서 수중의 무인체계는 자율무인잠수정이 핵심이다.

자율무인잠수정 기술은 1980년 초부터 연구가 시작되어 현재

성숙단계에 접어들고 있으며 해양의 많은 산업분야 뿐만 아니라 다양한 군사목적으로 사용하고 있다. 특히 지난 10년간은 케 이블에 의하여 조종되는 원격조종수중로봇(ROV)의 제한점을 극복하기 위한 목적으로 자율무인잠수정 연구가 진행 되어왔다. 이러한 자율무인잠수정은 심해저 자원탐사, 해양조사, 그리고 위험한 해역에서 정보감시정찰(ISR), 기뢰대향전(MCM) 등에 활용도를 넓혀가고 있다. 그러나 자율무인잠수정은 운용에 있어서 원격조종수중로봇(ROV), 반자율무인잠수정(SAUV), 그리고 인감이 탑승되어 작업하는 수중로봇에 비하여 많은 장점을 가지고 있으나 완전한 자율운항 위하여서는 해결하여야 할 많은 기술 분야가 아직도 남아있다. 무엇보다도 군에서 사용되는 자율무인잠수정은 적이 통제하고 있는 해역을 은밀하게 침투하고 전혀 알려지지 않은 미지의 수중환경에서 장기간 주어진 여러 가지 임무를 스스로 수행하기를 요구 받고 있다.

현재 미 해군에서 주로 사용하고 있는 무인잠수정은 ROV (Remotely Operated Vehicle) 형태의 기뢰제거기(MNV: Mine Neutralization Vehicle), 잠수함에서 진수되어 기뢰를 탐색하는 NMRS (Near-Term Mine Reconnaissance System, LMRS (Long-Term Reconnaissance System), 그리고 AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 형태의 해양자료 수집에 사용되는 REMUS 등이 있다. 그러나 C4ISR 체계 및 수중통신 기술 발달로 해상과 수중, 공중, 그리고 지상 간 무인화, 원격화, 네트워크화가 증대되어 대함공격, 대잠전, 대기뢰전 등에 자율무인잠수정의 역할이 점차 증대 될 것이다 [6].

따라서 본 기고에서는 미래 해양 전장환경에서 핵심적 무인체계인 자율무인잠수정(AUV)를 중심으로 운용개념을 살펴보고 운용개념에 따른 무인잠수정의 필요 기술과 발전 동향 등을 분석하였다. 연구 논문의 구성은 제 1절 서론에 이어 제 2절에서는 미국의 무인잠수정 개발 사례 및 운용개념 분석을 하였으며, 3절에서는 자율무인함정에 적용되는 요소 기술의 일반적 현황과 발전 동향을 분석하고, 제 4절에서는 자율무인잠수정의 운항제어 기술에 대하여 자세히 설명하였다. 마지막 제 5절에서는 연구의 성과를 정리하였으며 미래 자율무인잠수정 개발을 위한 기술적 제안을 하였다.

## II. 미 해군의 자율무인잠수정(AUV) 개발사례 및 운용개념

현재 개발되어 미 해군 작전에 사용되고 있는 무인체계는 무인항공기(UAV), 무인함정(USV), 무인잠수정(UUV), 그리고 해

병대 상륙작전에 사용되는 무인상륙차량(UAAV: Unmanned Amphibious Assault Vehicle) 등으로 구분할 수 있다 [5].

무인체계 발전은 2차 세계대전 중 독일의 V1 비행폭탄 제조 과정에서 발전된 자동제어 기술이 시초가 되었으며, 1970년대 중반에 무인표적기에 정찰장비를 탑재하여 정찰임무를 수행한 Firebee에서 무인항공기가 시작되었다. 1982년 이스라엘이 중동전에서 다양한 임무에 무인항공기를 사용하여 무인체계 효과성과 경제성을 확인하였다. 무인잠수정(UUV)의 경우는 1961년 미 해군에서 수중무기체계 시험과 시험 후 정보 수집 그리고 잔해를 수거하기 위하여 CURV (Cable-Controlled Research Underwater Vehicle)를 개발한 것이 시초이며, 1980년부터 MIT, 스탠포드, 해군대학원, 미 해군연구소 등 미국의 많은 대학과 연구소들이 자율무인잠수정 연구를 시작하면서 급격한 개발이 이루어지기 시작하였다 [2,3]. 현재는 미국을 비롯하여 프랑스, 영국, 독일, 스웨덴, 노르웨이, 호주, 일본, 중국 등에서 많은 자율무인잠수정을 개발하고 있다.

### 2.1. 미 해군의 자율무인잠수정 개발

미 해군의 무인잠수정 개발은 해상무기체계 시험 후 중요 자료와 잔해를 수거하기 위하여 1960년대 CURV를 개발하는 연구로부터 시작되었다 [1]. 그러나 자동제어 이론이 확립되기 시작한 1980년대에 와서야 체계적 개발이 이루어지기 시작하였으며 이때는 원격조정 수중로봇(ROV)와 자율무인잠수정(AUV)가 동시에 발전한 시기였다 [2]. 미국을 비롯한 세계 각국은 1990년대 들어 제어, 컴퓨터, 에너지, 선체설계 등 무인잠수정에 필요한 기술 혁신을 통해 100여종 이상의 무인잠수정 개발하였다.

1990년대 중반에 미 해군에서는 자율무인잠수정의 운용 비전을 제시하고, 종합계획을 수립하여 모든 주어진 임무를 수행할 수 있는 다양한 형태의 자율무인잠수정 개발에 착수하였다. 자율무인잠수정 개발 초기에는 정부의 지원예산이 부족하여 일시 중단되기도 하였으나, 새로운 개념의 해군 전략 및 대양에서 연안으로 전투력 투사(Forward From The Sea ... Navy Operational Concept)개념을 정립하면서 다시 자율무인잠수정의 종합계획을 수정 발표하였다. 수정 발표된 계획은 1994년의 초기 계획보다 더욱 발전적이고 체계적인 계획을 수립하게 되었으며 지금도 지속적으로 수정 보완하여 개발하고 있다. 특히 네트워크 중심작전 개념을 구현하기 위한 미 해군 무인화 전력 건설에 맞추어 그림 1과 같은 종합계획으로 자율무인잠수정 개발을 추진하고 있다 [5].

Sea Power 21 전략에서 해상방패에 응용되는 자율무인잠수정은 대잠전, 기뢰전, 그리고 해양 정보 획득을 위한 수단으로, 해상기지에 응용되는 자율무인잠수정은 무기체계 및 정보를 운송하는 시스템으로, 해상공격에 응용되는 자율무인잠수정은 정보작전과 긴급공격 등에 적용할 수 있도록 분류하여 개발하고 있다. 또한 해상방패, 해상기지, 해상공격 등에 응용되는 자율무인잠수정을 네트워크로 연결하는데 사용되는 정보체계의 무인잠수정도 동시에 개발 중에 있다. 미 해군은 이와 같은 임무를 수행하기 위하여 임무별, 크기별, 기능별 등으로 구분하여 총 9종류의 자율무인잠수정 중 · 장기적으로 개발 중에 있다. 미 해군은 자율무인잠수정 개발계획에 따라서 기뢰 부설지

역에 대해 제한적으로 은밀한 정찰을 실시할 수 있는 NMRS을 개발하여 2005년 실험에 성공하였으며, NMRS의 개발경험을 바탕으로 기뢰의 탐색범위, 속도, 그리고 발사 및 회수 기술 등이 향상된 장기기뢰 탐지시스템(LMRS) 개발하여 2007년 1월 각 중 시험이 성공적으로 이루어졌으며, 같은 해 11월에는 LA급 핵잠수함에 배치하여 실전 훈련에 성공하였다. LMRS는 LA급 및 버지니아급 핵잠수함에 탑재되어 Torpedo Tube를 이용하여 진수되고 적 해안 깊숙이 정찰 및 기뢰 탐색을 실시하는데 운용되고 있다.

또한 해양 정보 수집을 위하여 운반하기 용이하고 다양한 센서를 탑재한 소형 자율무인잠수정 REMUS 개발에 성공하여 수상함에 탑재하여 사용하고 있으며, 무인잠수정 임무를 모듈화하여 운용 할 수 있는 MRUUV가 그림 2와 같이 다양하게 개발 중에 있다. 미래 최첨단 자율무인잠수정으로 Manta와 같이 잠수함 외형에 탈부착 할 수 있는 미래 자율무인잠수정 개발에도 미 해군 연구소를 중심으로 많은 연구를 수행하고 있다.

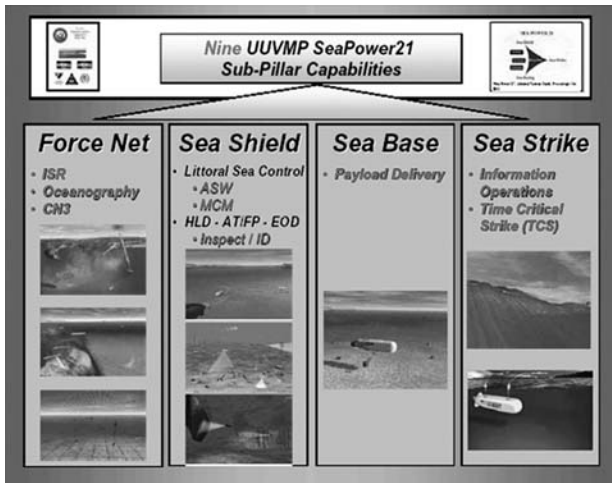


그림 1. 미 해군의 자율무인잠수정 종합 개발계획.

2.2. 미 해군의 자율무인잠수정 운용개념

일반적으로 자율무인잠수정은 잘 알려지지 않은 3차원 수중 공간에서 주어진 임무를 수행하기 때문에 임무에 대한 정확한 계획 및 집행 수행, 작업 공간의 환경 정보를 이용한 장애물 회피와 같은 지역 경로 계획, 획득 정보 및 임무 달성의 송수신, 안전한 귀환 및 진수 등의 일련의 과정이 그림 3과 같이 자율적으로 이루어져야 한다. 이를 위해 필요한 세부 기술로는 자율제어 (Autonomy)기술, 에너지(Energy)기술, 센서 및 센서 데이터 처리



그림 2. 미 해군의 다양한 자율무인잠수정.

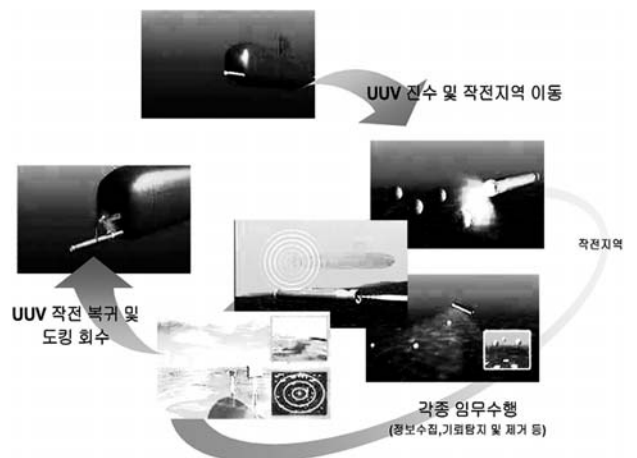


그림 3. 자율무인잠수정의 운영 개념도.

(Sensors and sensor processing)기술, 통신 및 네트워킹 (Communication and Networking)기술, 항법(Navigation)기술 등이 요구된다 [1].

미 해군의 자율무인잠수정 종합비전 계획을 통해서 알 수 있듯이 자율무인잠수정은 크게 5가지의 운용개념을 바탕으로 운용되고 있다. 무인잠수정 운용은 작전해역의 환경과 임무에 따라서 그림 4와 같이 분류되며 각 운용개념에 따른 무인잠수정 성능이 요구된다.

첫 번째 운용개념은 해안선과 접해있는 해역과 해안선에서 약 200ft 정도 떨어져 있는 해역에서 기뢰 탐색 및 제거를 위한 기뢰전이다 [6]. 수심이 매우 얇은 지역에서 기뢰전은 소형 자율무인잠수정을 이용하고, 수심이 있는 해역에서는 함정 또는 잠수함에서 발진하는 무인잠수정이 케이블에 의해 원격통제되거나 완전한 자율시스템에 의해 작전해역으로 이동한다. 현재 REMUS (Remote Mine Hunting System)은 연안 전투함에서 진수하여 자율운항제어 형태로 이동하고, LMRS은 LA급 잠수함에서 진수하여 연결된 케이블 정보를 활용 반 자율시스템에 의해 목표지역으로 이동하여 기뢰 탐지 및 side scan 소나를 이용하여 기뢰의 위치와 식별을 실시한다. 기뢰의 정보를 획득한 LMRS는 자율운항 시스템과 도킹 시스템에 의하여 발진한 잠수함으로 회귀하며 획득한 정보를 이용하여 기뢰를 제거 한다.

두 번째 운용개념은 무인잠수정을 이용한 정보전이다. 정보전은 원거리 해역에서 적 중요 항구나 세력을 은밀하게 감시 정찰하는 것으로 주로 잠수함에서 자율무인잠수정을 발진시킨다. 잠수함에서 발진한 자율무인잠수정은 광학장비, 소나 시스템, 적외선 탐지기 등을 활용 정보를 수집하고 모함이나 아군에

게 송신한다. 자율무인잠수정의 정보활동은 크기와 에너지원에 따라 다르나 수일에서 몇 주씩 계속된다.

세 번째 운용개념은 대잠전이다. 자율무인잠수정을 이용한 대잠전은 가장 효율적이고 경제적이란 분석이 있다. 일반적으로 잠수함을 이용한 대잠전은 주로 잠수함이 정박해 있는 항구 입구나 또는 잠수함이 잘 다니는 길목에서 잠복하고 있다가 적 잠수함을 접촉하고 추적하여 공격하는 것이다. 그러나 잠수함이 잠복하는 경우는 상대에게 탐지될 확률이 있으며 이 경우는 매우 위험하다. 따라서 원거리에서 자율무인잠수함을 발진하여 적 항구 입구나 길목에서 기다리도록 하여 잠수함을 접촉 공격하는 것이다. 대잠전에 사용되는 자율무인잠수정은 장기간 일정 지점에서 머물러 있어야 하고 적 잠수함의 소음을 접촉하고 스스로 식별 할 수 있어야 한다. 또한 적 잠수함을 추적하여 공격 할 수 있는 속도와 무기체계를 갖추어야 할 것이다. 미래 미 해군의 대잠전 자율무인잠수정으로 Large MRUUV를 생각할 수 있다.

네 번째 운용개념은 해양 정보 수집이다. 자율무인잠수정과 무인함정 그리고 무인항공기를 이용한 실시간 해양 정보 수집 활동이 미 해군에서는 매우 중요하게 이루어진다. 자율무인잠수정을 이용 넓은 지역에서 획득한 해양 정보를 수중통신 또는 케이블을 이용하여 무인 함정에 송신하고 무인함정은 무인항공기에 정보를 전달함으로 매우 신속하게 함정에 제공 할 수가 있다. 특히 적 해역과 같은 위험 지역에서는 은밀성 유지하고 위험성을 줄일 수가 있다. 이 외에도 자율무인잠수정을 이용하여 수중통신 중계 역할, 수중항법의 노드, 수중 구조 활동의 보조 등으로 미 해군에서 운용되고 있다.

### III. 자율무인잠수정의 주요 핵심기술

미래 해양 전장환경에서 자율무인잠수정이 임무수행을 원활히 수행하기 위해서는 각각의 운용개념에 따른 핵심기술이 확보되어야 할 것이다. 핵심소요기술은 자율무인잠수정(AUV)의 임무 정의, 임무에 필요한 구체적 기능분석, 기능분석에 따른 주 기술과 보조기술 분석, 기술 로드맵 작성을 통한 구체적 개발 등의 순서로 획득될 것이다 [7].

정보전에 요구되는 핵심기술은 목표물을 탐지/분류/식별 할 수 있는 센서기술, 획득된 정보를 송신할 수 있는 통신기술이 핵심이 될 것이다. 해양 탐색 및 자료수집에서는 정확한 정보를 제공할 수 있는 수중항법 기술이 무엇보다도 중요하다. 기뢰대항전에 사용되는 무인잠수정은 기뢰의 위치를 확인하고 식별

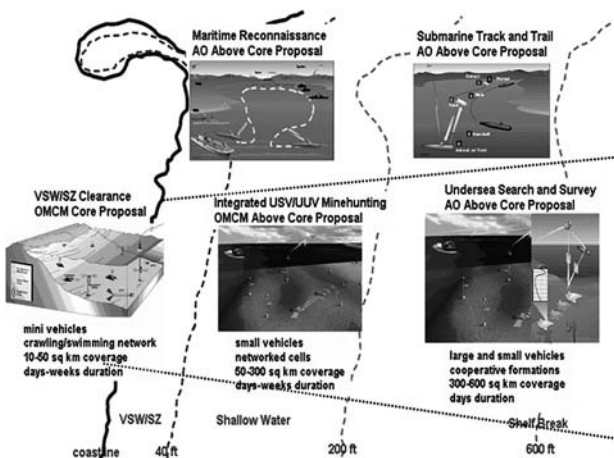


그림 4. 미 해군의 무인잠수정 운용개념도.

할 수 있는 수중센서와 제어 기술이 요구될 것이다. 대잠전에 사용되는 자율무인잠수정(AUV)은 은밀하게 적 잠수함을 식별하고 추적 공격하는 임무를 가지고 있기 때문에 자율무인잠수정이 필요한 핵심기술은 수중통신, 항법, 에너지, 추진, 임무장비, 센서, 신호처리, 그리고 자율제어 기술 등이 복합적으로 필요하다 [8, 9, 18].

본 장에서는 일반적으로 자율무인잠수정에 요구되는 주요 핵심기술에 관하여 설명하기로 한다. 그림 5는 자율무인잠수정이 일반적으로 운용되기 위하여 소요되는 핵심 기술을 표현한 구성도이며 본 절에서는 각 핵심 기술의 발전 동향을 개략적으로 살펴보고자 한다. 그림 6은 2005년에 미 해군이 조사한 핵심소요기술을 분야별 기술 개발 정도를 도표화 한 것이다. 모든 분야에서 자율화 기술이 매우 취약함을 알 수가 있다. 또한 전



그림 5. 자율무인잠수정의 핵심 기술 구성도.

	Maneuver	Human Systems Interface	Signature	Sense	Communicate	Engage/Intervention	Support/Launch & Recovery
Sensors	6.4	9.0	5.9	6.7		6.5	7.4
Communications	7.0	7.8	6.0	7.3	6.2	5.3	6.5
Navigation	6.8	8.0		7.0	7.4	6.0	7.5
Energy	4.8		6.7	7.6	8.4	5.0	7.4
Data Signal Processing	5.8	8.0	6.0	5.8	7.5	4.0	8.0
Autonomy	4.9	4.4	3.0	5.0	4.0	4.0	4.7
Structure	7.5		6.3	8.0		4.8	7.7
Mission Equipment		6.1	7.0	6.5	3.3	4.9	7.1
Vehicle Control	7.1	5.0	9.0	5.5		4.6	7.8
Host Interface	8.8	8.0	9.0	9.0	9.0		7.5
Logistics Support	7.2	7.0		7.3	6.7	4.3	7.0
				Average TRL = 1			5
				Average TRL = 5			7
				Average TRL = 7			9

그림 6. 자율무인잠수정의 핵심요소기술 개발 정도.

투용 무인잠수정에 응용되는 에너지, 제어, 자율화 등의 많은 기술이 평균치 보다 개발 정도가 낮음을 알 수 있다.

### 3.1. 자율제어(Autonomy)

자율제어 기술은 자율무인잠수정에 응용되는 핵심기술로서 정보전, 대잠전, 기뢰대향전 등 모든 자율무인잠수정 자율화에 사용되는 기본적 기술이다. 자율제어는 원거리 자율항해, 목표물에 접근하여 식별하고 판단하여 위험 물체는 회피할 수 있는 능력, 그리고 주어진 임무를 수행하는 것들을 포함한다. 또한 다수의 자율무인잠수정, 무인체계와 공조하여 임무를 수행하는 기술까지도 요구하고 있다[10][16].

그림 7과 같이 자율무인잠수정의 자율화 수준은 주어진 임무의 복잡성, 작전 환경의 난이도, 그리고 운용자의 간섭 정도에 따라 결정된다. 현재 세계적인 자율화 발전 수준은 4.5~5 정도이며 미래 8정도를 목표로 개발하고 있다. 자율화 수준의 향상을 위해서는 수중통신, 소나와 같은 센서, 수중항법, 항로계획 및 장애물 회피, 제어, 그리고 임무 계획 및 융합 등의 기술이 종합적으로 필요하다. 작전의 형태나 임무에 따라서 자율화의 정도가 완전 자율, 반자율, 또는 수동 등으로 구분하여 무인잠수정을 개발 운용하는 추세이다.

미국에서는 자율제어 기술을 6정도의 수준까지 개발하여 검증을 마치고 Manta Test-Bed 시스템에 적용한 것으로 보인다. 국내에서는 센서로부터 획득된 정보를 추론 및 의사 결정하는 자율 운항제어기술과 임무 수행에 필요한 계획경로 및 장애물회피 기술은 기초적 수준에 머무르고 있으나 수중항법과 제어 기술 등은 학계, 연구소 등을 중심으로 많은 진전이 있었다.

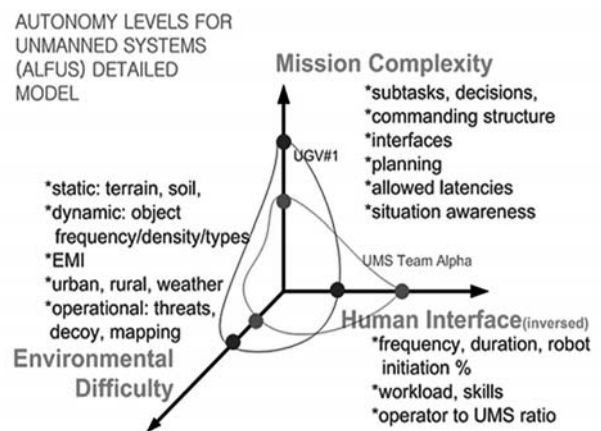


그림 7. 자율무인잠수정의 자율화 수준 관계도.

### 3.2. 센서 및 신호처리 기술

정찰 및 감시, 기뢰대향전, 대잠전 등 자율무인잠수정 임무의 성공은 사용하는 센서에 의해서 결정된다고 볼 수 있다. 기뢰 및 장애물 탐지 센서의 경우는 탐지 범위의 확대와 식별의 정확성 등의 능력 향상이 요구된다.

현재 무인잠수정의 기뢰 및 장애물 탐지 음향센서는 전방 물체의 식별을 위한 전면소나배열(forward look sonar array), 음향통신배열(acoustic communication array), 측면 및 해저 물체 식별을 위한 측면소나배열(side looking sonar array) 등으로 구성되어있다. 탐제된 소나 센서는 포설된 기뢰, 장애물뿐만 아니라 매설되어 있는 기뢰도 탐지, 식별 할 수 있어야 한다. 이 같은 능력을 갖춘 센서를 개발하기 위해서는 파라메트릭 배열 등의 센서 배열 기술, 실시간 영상 처리가 가능한 신호처리 기술, 영상 전파 방법을 이용한 자동인식 알고리즘 개발이 요구된다.

파라메트릭 배열의 특성은 음파의 비선형성을 이용하는데, 높은 주파수의 1차음(primary source wave)의 두 주파수로 가진을 하게 되면 두 주파수의 합과 차음 및 각각의 주파수 성분들이 발생하게 된다. 그 중 차 주파수(secondary generated wave)를 제외한 다른 주파수들은 주파수가 높기 때문에 감쇠효과가 커서 음파가 얼마 진행되면 사라지는 반면에 저주파수로서 발생하는 차 주파수는 부엽이 제거된 높은 방향성을 가지고 음의 감쇠효과도 적은 장점을 가진다. 음파를 이용한 영상은 일반적인 광학 시스템과 달리, 수중 음파 발생기에서 나온 음파 에너지가 물체에 반사되어 수중 청음기로 들어올 때까지의 시간(거리)과 반사 강도를 동시에 화면에 표현한다. 따라서 화면 아래부터 위쪽으로 갈수록 물체와의 거리가 먼 것을 나타내며, 재질의 음파

반사량이 화면에서의 물체 밝기가 된다. 따라서 광학시스템과 소나시스템은, 3D를 2D로 투사하는 과정이 완전히 다른 방식으로 작동되므로 기존의 광학용 영상 인식 알고리즘을 그대로 소나 영상에 적용하기는 힘들다. 이러한 sonar 영상 처리의 단점을 보완하기 위해서, 영상 처리 방법 중 물체의 영상을 그대로 이용하는 영상 정합 방법이 널리 쓰이고 있다. 그 중, 널리 쓰이는 방법 중의 하나가 Gaussian 분포를 이용한 인식법이다. 기존 기뢰의 모양의 이미지 분포를 Gaussian 분포로 변환하여 사용하는 방법이다 [11].

외국 센서기술은 해저(Seabed)에 매설된 물체를 탐지(Detecting), 영상화(Imaging), 분별(Classifying)의 기능까지도 개발이 완료되어 있다고 볼 수 있다. 국내 센서 기술 동향은 UUV용 센서 연구는 항해(Navigation)용 센서에 대하여 국외 제품을 도입하여 사용하고 있으며, 수중 탐색용 센서에 있어서는 예인형 Side Scan Sonar가 국내 개발되어 실용화되고 있는 수준이며, 정찰감시용 UUV를 개발하기 위해 필요한 센서는 일부 센서(기뢰 탐지용)에 대해서 적용이 가능하나 작전 해역내의 수중 거동 표적 탐지를 위한 센서기술은 미흡한 현실이다.

### 3.3. 에너지(Energy)

에너지는 다양한 자율무인잠수정 임무의 최종적 수행에 미치는 영향 때문에 중요한 고려사항이 되어왔다. 에너지가 공급되는 수면에서부터 자율무인잠수정이 멀어질 때, 항상 고려되는 요소가 에너지이다. 자율무인잠수정의 에너지원은 선체설계와 시스템의 효율적 운용에 있어서 매우 중요 인자가 된다. 자율무인잠수정의 에너지가 주어진 임무를 직접 해결하는 것은 아니나, 모든 작전에 있어서 크기와 비용, 성능과 추진 시스템을 최적화하려는 요구가 있다. 현재 많은 자율무인잠수정에 사용하고 있는 에너지원은 연료전지, Silver-zinc wet cell, 재충전 리튬전지, Semi Full cell, 리튬이온, 리튬폴리머, 그리고 열기관 등이 있다. 그 중에서도 LMRS등에 사용하고 있는 Semi 연료전지가 연구대상이 되고 있다.

국내에서는 자율무인잠수정용 2차 전지를 연축전지로 사용하여 시험한 실적은 있으나 최신 Li-ion전지 등을 사용한 실적은 없다. 연료전지 기술은 활발히 연구되고 있는 실정이나 자율무인잠수정에 적용 가능한 기술로는 아직 연구가 필요한 실정이다. 잠수함에 적용된 엔진기술 등이 자율무인잠수정에 적용 가능한 기술로는 연료전지에 비해 많은 연구가 더 필요한 실정이다. 미국에서 무인잠수정용 추진 에너지 개발은 DARPA에서 21인치 무인잠수정에 AgO-Zn 2차 전지를 사용하고 있으며 연료

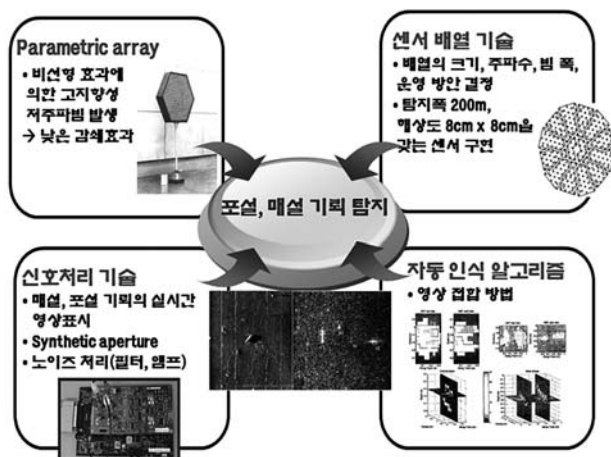


그림 8. 기뢰 탐지 센서의 중요기술 현황.

전지를 적용하기 위한 연구가 시작되었다. 장시간 운용을 위한 고성능 2차 전지 및 소형 엔진기술 등은 계속 연구 중에 있다. 미국 ONR에서도 6개월간 자율항해로 운용되는 자율무인잠수정 개발에 있어서 핵심 기술로 에너지를 고려하고 있다.

### 3.4. 수중통신(Underwater Communication)

자율무인잠수정과 수상함, 잠수함, 그리고 다른 무인잠수정 사이에서 지휘명령과 데이터 전송을 위하여 수중통신이 요구되는데 우리가 잘 알고 있는 것과 같이 수중에서 전자파의 사용은 한계가 있으므로 주로 저주파인 음향신호를 사용한다. 수중통신 연구에서는 음향신호 센서의 잡음 및 오차를 감소시키는 기술 개발이 필요하다.

자율무인잠수정 임무를 위한 통신 모드를 평가할 때 고려되어야 할 중요한 문제는 사용 가능한 대역폭, 발신과 수신 사이의 거리, 통신의 은밀성, 그리고 요구되는 하부 구조 등이다. 이것은 가능한 적대적 도청에 수신기 또는 송신기가 노출되지 않으면서 통신이 요구될 때 해양 정찰과 잠수함 추적의 임무를 수행할 수 있을 것이다.

국내의 기술현황은 기본적인 수중통신장비를 개발이 가능하나 수중의 제반 환경을 고려한 통신 성공률이 높은 고성능의 수중통신기술에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이며 2007년 수중통신 특화연구 센터를 중심으로 연구가 진행되고 있다. 외국의 경우에는 미국이 Manta Test-Bed에서 기본적인 정보/감시/정찰(ISR)임무를 위한 수중통신/RF통신/인공위성통신 등 제반 기술을 개발하여 성공적으로 수행하였다는 보고가 2006년에 있었으나 그 내용은 잘 알려지지 않고 있다.

### 3.5. 진수와 회수

자율무인잠수정 운용과정에서 매우 어려운 사항 중에 하나가 자율무인잠수정을 잠수함에서 진수하고 회수하는 것이다. 자율무인잠수정의 진수는 어뢰 발사관을 이용하여 이루어지므로 어뢰 발사관 보다 크기를 증가시키거나 감소할 경우에는 잠수함 설계를 변형해야하는 문제를 가지고 있다. 따라서 현재 미국 잠수함에서 운용되고 있는 NMRS, LMRS는 어뢰 크기의 제약을 가지고 있다. 자율무인잠수정의 회수 기술은 진수보다 매우 복잡하고 어려운 기술적 문제를 가지고 있다. 원거리에서 잠수함을 탐지하고 추적하는 기술과 접근 하였을 때에는 잠수함의 도킹 장치와 자율무인잠수정이 정확히 유도되는 기술이 필요하다.

도킹 기술은 플랫폼의 상태와 제공되는 안내 신호에 따라 매

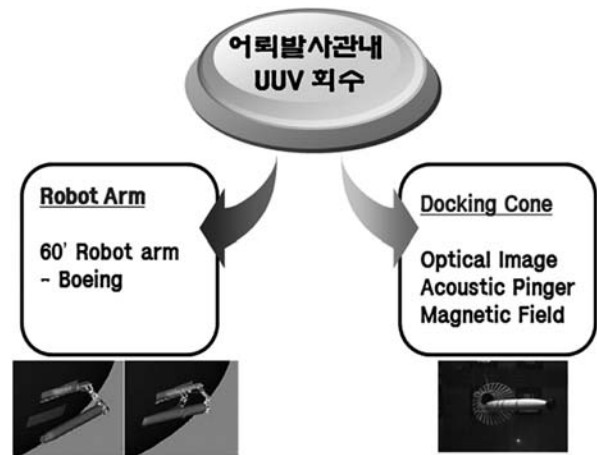


그림 9. 자율무인잠수정의 도킹과 필요기술.

우 다양하고 복잡하게 구현되기도 한다. 도킹시스템은 미국 Woods Hole에서 개발한 12" 크기의 무인잠수정이 수중에 있는 콘 모양의 정지된 플랫폼에 접근하는 시스템으로 개발되었다. 이때 자율무인잠수정은 콘 모양의 플랫폼 끝단으로부터 음향신호를 받아 자신의 경로를 만들고 제어하여 찾아가는 방법이다. 여기서는 음향모뎀 제어가 요구되고, 소형 무인잠수정의 위치 제어에 적합한 슬라이딩 모드와 같은 비선형 제어 기법이 요구된다.

미국 잠수함에서 현재 LMRS의 근접 도킹 방법으로 로봇 팔을 사용하고 있으며 그림 9 왼쪽에서 보여주고 있다. 움직이는 잠수함에서 6 자유도의 로봇 팔을 이용하여 자율무인잠수정을 안전하게 회수하는 기술은 정확한 유도 뿐 만 아니라 동역학적 해석과 기구학적 해석이 이루어져야 한다.

이와는 다른 개념으로 미국 NUWC (Naval Undersea Warfare Center)에서 개발한 Manta과 같이 선체 부착형 방법이 있다. 이 개념에 의하면 잠수함 선체 외부 절개부에서 장착/이탈하는 방식으로 자율무인잠수함이 진수 및 회수된다. 그러나 이 방식은 개념 정립 상태로서 구체적인 연구 성과가 없으며 따라서 잠수함으로부터 AUV가 분리 또는 고정되는 방법 등 추가 연구가 필요한 실정이다.

## Ⅳ. 자율무인잠수정의 운항제어 기술

자율무인잠수정의 운항제어 기술 중에서 매우 중요한 기술은 수중항법 기술이다. 자율무인잠수정이 정확한 위치를 산출하고 주어진 계획경로를 오차 없이 추적하는 기술은 운항제어

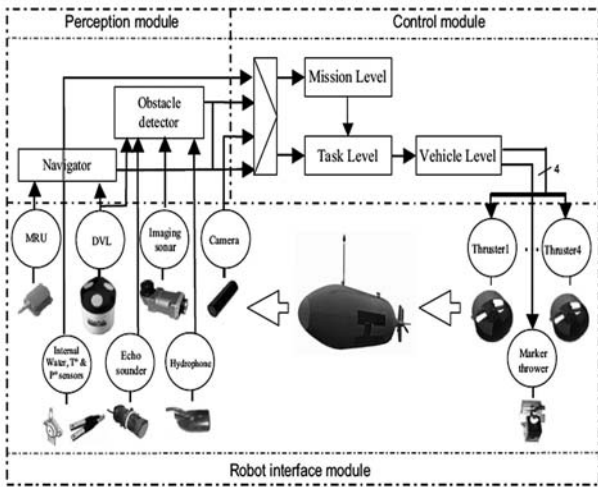


그림 10. 무인잠수정의 자율시스템 구성.

및 정보 획득의 가치 면에서도 중요하다. 자율무인잠수정의 제한적 공간과 한정적 전원의 공급에 따른 다양하고 정밀한 센서 사용의 어려움은 항법 센서의 구성 및 데이터 융합을 통한 정확한 데이터 산출의 높은 기술을 요구한다. 따라서 수중에서 운용 시간이 증가되어도 항법오차를 최소화하고 일정하게 유지하는 기술이 수중항법의 핵심이라 할 수 있다. 자율무인잠수정에서는 이러한 항법의 정밀도를 높이기 위하여 복합항법 센서를 구성하여 사용한다. 그러나 수중항법의 기술이 난이도가 높기 때문에 자율무인잠수정 항법은 주어진 임무에 따라서 다양한 센서 구성, 항법 알고리즘 등을 사용하는 것이 일반적이다. 항법이 정밀도를 유지한다고 한다면 이 정보를 이용하여 자율제어를 실시한다. 자율제어 기술은 매우 어려운 분야로 자율무인잠수정에 탑재된 각종 센서를 통하여 무인잠수정의 운용환경, 상태 등을 인지하고 판단하여 행동의 명령을 지시하는 것이다. 자율제어의 흐름은 그림 10에서 보여주고 있다. 자율제어의 수준은 인간이 얼마나 간섭하느냐에 달려 있으며 현재 미 육군에서 사용되고 있는 자율무인로봇은 10단계로 분류하여 사용하고 있으며 미 해군에서는 크게 4단계로 구분하여 자율 수준을 구분 사용하고 있다 [16]. 본 절에서는 자율제어의 핵심이라 할 수 있는 수중항법의 기술 동향을 살펴보고자 한다.

#### 4.1. 항법센서 및 시스템

##### (1) 하이드로폰

수중에서 수동적으로 발신되는 음향신호를 수신하여 음향의 강도와 발신지의 거리, 방위에 대한 정보를 획득하고 분석하며

음원의 위치를 계산할 수 있는 시스템이다. 또한 수중통신을 위하여 데이터를 송수신할 수 있는 시스템으로 수중음향 항법장치 구성의 기본적 시스템으로 사용된다.

##### (2) 가속도계 (Inertial Measurement Unit : IMU)

자율무인잠수정의 방위별 가속도를 측정하는 장비로 사용하는 도구에 따라 Seismic 질량 가속도계, Piezo-Electric 가속도계, Force Balance 가속도계 등으로 구분된다. 정밀한 측정이 요구될 때는 Force Balance 가속도계가 사용되고 있으나 최근에는 반도체를 이용한 소형 실리콘 가속도계가 개발되고 있다.

##### (3) LBL (Long Based Line) 시스템

LBL 시스템은 일반적으로 해저에 기준이 되는 트랜스폰더 (Transponder)를 1~5km 간격으로 설치하여 트랜스폰더로부터 수중신호를 수신하여 선체의 위치를 계산한다. 이 시스템은 좌표 측정 시 해저를 기준으로 하기 때문에 자북에 대한 좌표변환이 필요 없고 절대좌표계나 상대좌표계로 변환이 자유롭다는 장점이 있다. LBL 시스템에서 사용하는 트랜스폰더들은 각각 다른 주파수대에 반응하므로 서로간의 신호를 구분하여 신호의 발신 시각과 수신 시각을 측정하고 측정된 시간의 절반에 해당되는 시간에 음속을 곱하여 해저에 설치된 트랜스폰더까지의 거리를 계산할 수 있다. LBL 시스템의 일반적 형태는 수 킬로미터 떨어져 있는 3개의 트랜스폰더로부터 신호를 받아 자율무인잠수정에서 위치를 계산한다.

##### (4) SBL (Short Based Line) 시스템

SBL 시스템은 고가의 비용과 운용의 어려움이 있는 LBL 시스템을 개선하여 몇 개의 하이드로폰을 자율무인잠수정을 운영하는 플랫폼의 선체 표면에 약 30cm 간격으로 설치하고 자율무인잠수정에 트랜스폰더를 부착하여 자율무인잠수정의 3차원 위치를 측정한다. 즉, 자율무인잠수정에 설치된 한 개의 트랜스폰더나 동기화된 신호장치(Beacon)로부터 선체에 장착된 각 수중 청음기에 도달된 신호의 도착 시간을 측정하여 무인잠수정에 대한 상대적인 모선의 위치를 계산한다. LBL 시스템에 비해 Base Line이 짧고 센서가 플랫폼에 있으므로 운용이 간편하고 상대적으로 낮은 비용이 든다.

##### (5) SSBL (Super-short Based Line) 시스템

SSBL 시스템은 원리적 측면에서 SBL과 유사하나 구조가 간단하고 소형으로 모선의 크기에 제한을 받지 않고 사용이 가능



하다. 230mm 정도 크기의 직경으로 되어있는 SSBL은 내부에 5~20cm 배열로 하이드로폰과 트랜스듀스가 하나로 통합되어 있다. 이 시스템은 SBL 시스템과 달리 Base Line 이 매우 짧기 때문에 각각의 응답기에서 수신되는 음향신호의 시간 차이를 음파의 위상차이로 측정하며, 이것을 이용하여 목표물까지의 거리 및 방향을 산출한다. 센서 배열 간격이 짧아서 정확성은 LBL 및 SBL 보다도 낮으나 이동의 편리성과 비용이 저렴하고 간단한 시스템으로 구성할 수 있는 장점이 있다 [17].

(6) DVL (Doppler Velocity Log)

DVL은 음향신호를 이용하여 수중에서 운동하는 자율무인잠수정의 절대, 상대속도를 측정하는 속도계이다. DVL은 도플러 원리를 응용한 시스템으로서 움직이는 선체로부터 발생하는 주파수와 수신된 신호의 주파수의 차이가 해저 기준점에 대한 선체 속도에 비례한다는 아래 관계식을 이용한다.

$$df = 2Vf_0 \cos\theta / v$$

여기서  $df$  는 도플러 효과로 발생하는 주파수 차이 (Hz) 이고,  $f_0$  는 발생시킨 음파의 주파수,  $V$  는 선체 속도,  $v$  는 물속에서의 음속, 그리고  $\theta$  는 수평에 대한 음파의 각도이다. 일반적으로 DVL은 150-1200kHz 범위의 주파수를 사용하며 주파수에 따라 다르나 약 0.5-0.2% 이내의 속도 및 방위 결정 오차 범위를 갖는 정밀한 장비들이 생산되고 있어 자율무인잠수정의 보조 항법 센서로 우수한 성능을 발휘하고 있다.

4.2. 항법센서 구성

항법시스템의 구성은 위에서 언급한 센서 및 시스템을 복합적으로 구성한다. 자율무인잠수정의 항법 구성은 그림 11과 같이 한다. 일반적으로 자율무인잠수정의 수중항해를 위한 항해 및 보조 항해 장비로는 DVL, INS, DGPS, Gyro compass, LBL, SBL, SSBL, 심도계 등이 있으며 자율무인잠수정의 사용 목적에 따라서 적절하게 구성하여 사용하고 있다. 군사목적의 기뢰 탐색 및 제거에 사용되는 자율무인잠수정은 운용범위가 광범위하고 수심이 깊은 해역이므로 SSBL 시스템을 가장 많이 사용하고 있다. 앞 절에서 언급한 것과 같이 SSBL은 사용하기는 용이하나 음향신호를 수신하는 센서배열 간격이 짧아 오차 발생이 크게 되어 정밀한 항해가 요구되는 수중항해에는 문제점을 가지고 있다. 따라서 기뢰 탐색 및 제거, 그리고 정밀한 수중항해를 위한 항법 시스템 구성을 그림 11과 같이 IMU를 자율무인잠수정의 주장비로 사용하며, 심도계, DVL, GPS, 대조지형 자료

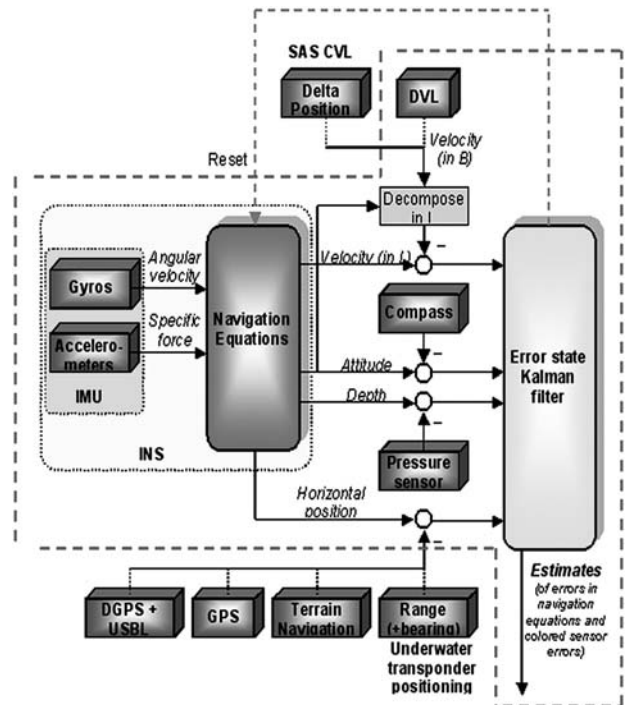


그림 11. 자율무인잠수정 복합항법 구성도.

등을 자율무인잠수정의 보조 장비로 사용하여 각 장비로부터 획득한 정보를 이용하여 보다 정확한 항해정보를 얻을 수 있게 한다 [12].

4.3. 항법 시스템의 알고리즘

항법 센서에 따라서 다양한 항법 알고리즘을 이용하여 수중에서의 위치를 추정하고 운항제어를 하고 있으며, 일반적으로 많이 사용하고 있는 간단한 추측항법(dead reckoning) 알고리즘이 개략적인 위치 추정과 항해를 위하여 사용되고 있다. 그러나 수중에서 작은 물체인 기뢰 탐색 및 제거와 같이 정확한 위치의 추적계산이 요구되는 정밀한 임무를 수행하기 위해서는 보다 정밀한 위치 예측이 이루어 질 수 있는 새로운 항법 알고리즘의 개발이 필요하다. 잠수함 발사 기뢰탐색 자율무인잠수정은 고도의 정밀한 위치 추적항해가 요구되므로 새로운 형태의 선세 융합 알고리즘을 사용한다 [13].

항법 알고리즘 데이터 융합을 위하여 일반적으로 사용되고 있는 칼만 필터를 비선형 출력 시스템에 적용한다. 칼만 필터는 노이즈와 결합되어 측정된 출력을 계속 반복적으로 필터링하고 다양센서 정보를 융합하여 시스템의 상태변수를 정밀하게 추정하는 하나의 알고리즘이다. 비선형 출력 시스템을 이용하

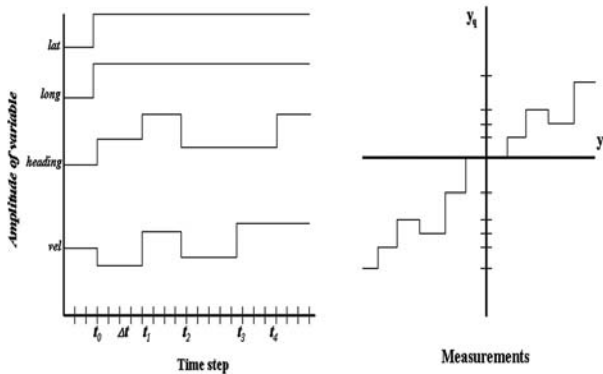


그림 12. 비선형성의 항법센서의 출력.

는 알고리즘이 EKF (Extended Kalman Filter)이다[20]. 일반적으로 항법센서, DVL로부터 측정된 속도, 자이로컴퍼스로부터 측정된 자율무인잠수정의 방위와 방위 변화율, INS로부터 측정되는 위치 정보 등은 그림 12와 같이 비동시성(Asynchronous)과 이산성(Discrete)의 특성을 가지고 있는 쿼타이즈 (Quantized) 형태의 출력이다. 쿼타이즈 형태의 출력 정보는 시스템을 비선형화시키는 역할을 하므로 이 문제를 해결할 수 있는 적절한 알고리즘 선택이 필요하다[14, 15, 19].

### V. 결론

해양 전장환경과 과학기술 변화는 전투개념 자체를 변화시키고 있다. 이에 따라 선진국 해군, 특히 미국의 무인체계에 대한 비전은 상상을 초월하고 있다. 그 중에서도 자율무인잠수정에 대한 비전은 우리가 상상할 수 없을 정도로 앞서가고 있다. 특히 학계와 연구소에서 연구 개발된 기술을 종합하여 자율무인잠수정에 응용하려는 노력이 1980년부터 시작하여 1994년부터는 체계적으로 시작되었으며, 2000년대에는 해군의 전략과 연계하여 새로운 개발 계획을 수립하였으며 지속적 수정 보완하여 오고 있다. 미 해군은 자율무인잠수정 종합계획에 따라 정보전, 대잠전, 기뢰대항전 등 임무를 수행 할 수 있는 다양한 자율무인잠수정을 개발하였으며 그 중 LMRS, NLRs, REMUS 등은 실전 배치되어 운용되고 있음을 살펴보았다.

우리 해군은 자율무인잠수정 활용 계획을 아직 구체적으로 수립하지 못하고 있는 상황이나 국방과학연구소 6체계본부와 합동참모본부를 중심으로 국방로봇(해상/수중분야) Master Plan을 작성하여 운용개념과 필요기술 그리고 확보계획을 2011년 초에 제시하였다 [8]. 2011년 후반기에는 차세대 잠수함에서 운

용될 수 있는 기뢰 탐색, 식별, 해양정보 수집 및 감시를 할 수 있는 자율무인잠수정을 해군에서 확정할 예정이며, 2011년 후반기에 선행연구 사업으로 기뢰탐색용 자율무인잠수정을 개발할 예정이다. 본 논고에서는 미래 자율무인잠수정의 운용의 범주를 정보전, 기뢰대항전, 대잠전, 네트워크 중심전 등으로 구분하여 개념을 살펴보았으며, 그와 같은 자율무인잠수정 개발에 필요한 핵심기술인 선체, 에너지, 항법, 자율, 제어, 그리고 수중통신 등을 고찰하였다. 특히 자율운항 기술의 핵심이라 할 수 있는 수중항법의 센서, 시스템, 센서 구성, 그리고 알고리즘에 대하여 정립하였다. 수중항법의 정확도는 운용개념, 획득된 정보의 가치를 판단할 수 있는 중요한 요소이다. 또한 자율무인잠수정에 탑재하고 있는 각종 센서를 통하여 수중환경을 인지하고 상황을 판단 행동 지시를 명령할 수 있는 자율 기술은 앞으로 많은 연구가 필요할 것이다.

※ 본 연구는 국방과학기술연구소가 설립한 무인화 특화 연구센터(UV-22)와 산업기술연구회에서 시행한 협동 연구사업(생체 모방형 수중 로봇 개발)의 지원을 받아 수행되었음을 밝히며, 감사의 뜻을 전한다.

### 참고문헌

- [1] ROV(Remotely operate Vehicle) Review 1993-1994 5th Edition, Windate Enterprises, San Diego, CA, 1993.
- [2] Technology and the Mine Problem Symposium Proceedings, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 1996.
- [3] Operational Effectiveness of Unmanned Underwater Systems, Robert L. Wemli, editor, Marine Technology Society, Washington, D.C. 1999.
- [4] Remotely Operated Vehicles of the World ' 98/9 Edition, Oilfield Publications Limited, Houston TX, 1998.
- [5] The Navy Unmanned Undersea Vehicle(UUV) Master Plan, 20 April 2004.
- [6] Unmanned Vehicles in Mine Countermeasures, Naval Research Advisory Committee, Washington, D.C. 1999.
- [7] 국방과학연구소, "국방로봇(해상/수중분야) Matser Plan", 2005. 2.
- [8] L. L. Whitecomb, "Underwater Robotics; out of the research laboratory and into the field", in *IEEE Intl. Conference on Robotics and Automation*, pp. 85-90, 2000.
- [9] R. McEwan and H. Thomas, "Performance of an AUV navigation

system at arctic latitudes," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 30, pp. 443-454, April 2005.

[10] Hagen, P. E., Midtgaard, O. & Hasvold O., "Making AUVs truly autonomous", *Proceeding of Ocean 2007 MTS/IEEE, Vancouver*, BC, Canada, Oct. 2007.

[11] S. Reed, Y. Petillot, and J. Bell, "A Model based approach to mine detection and classification of mines in sidescan sonar," *Applied Optics*, vol. 43, pp. 237-246, January 2004.

[12] McClarin, D. W., "Discrete asynchronous kalman filtering of navigation data for the phoenix autonomous Underwater Vehicle", M. S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 93943, March, 1996.

[13] J. Lee, M. S. Gelormino, and M. Morari, "Model predictive control of multi-rate sampled-data systems: A state space approach," *International Journal of Control*, vol. I pp. 153-191 1992.

[14] J.N. Sur, "State observer for linear systems with quantized outputs," Ph.D. thesis, University of California, Santa Barbara, CA, August 1996.

[15] J.N. Sur and A.J. Healey, "A multi-sensor asynchronous projection algorithm filter(PAF) for AUV navigation," *Tenth International Symposium on UUST, AUSI*, Sep.1997.

[16] C. S. Tan, R. Sutton & J. Chudley "Collision avoidance systems for autonomous underwater vehicle". *Journal of Marine Science and Environment*, No. C2, Nov. 2004, pp. 39-62.

[17] F. Zhang, X Chen, M. Sun, and M. Yan, "Simulation study of underwater passive navigation system based on gravity gradient," *Proc. Intl. Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 5, pp. 3111-3113, 2004.

[18] I. Nygren, "Terrain navigation for underwater vehicles," PhD Thesis, School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, SE-100 44 Stockholm, Sweden 2005

[19] J.N. Sur and B. E. Paden, "State observer for linear time-invariant systems with quantized outputs," *ASME Journal of Dynamics Systems, Measurement, and Control*, vol. 120, no. 3 Sep. 1998.

[20] P. S. Maybeck, "The kalman filter; An introduction to concepts", *Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology*, Monterey, California, June 1996.

● 저 자 약 력



**서주노**

- 1985년 서울대학교 기계공학과(공학사).
- 1989년 미 해군대학원 기계공학과(공학석사).
- 1997년 미국 캘리포니아대학(UCSB) 기계공학과(공학박사).
- 1997년 미 해군대학원 박사 후 과정.
- 현재 해군사관학교 기계조선공학과 교수.
- 관심분야 : 무인잠수정 및 무인함정의 수학적 모델링, 비선형 제어기 설계, 무인잠수정 항법, 무인시스템의 자율제어.



**김도완**

- 2002년 연세대학교 전기공학과(공학사).
- 2004년 연세대학교대학원 전기전자공학과(공학석사).
- 2007년 동 대학원 전기전자공학과(공학박사).
- 2008년 연세대학교 산업기술연구소 연구원 및 University of California at Berkeley, CA, USA 박사 후 과정.
- 2009년 연세대학교 전기전자공학과 BK 연구교수.
- 현재 국립한밭대학교 전기공학과 전임강사.
- 관심분야 : 비선형 샘플치제어, 지능제어, 디지털 재설계.



**이호재**

- 1998년 연세대학교 전기공학과(공학사).
- 2000년 연세대학교대학원 전기컴퓨터공학과(공학석사).
- 2004년 동 대학원 전기전자 공학과(공학박사).
- 2005년 University of Houston, Houston, TX, USA 방문조교수.
- 현재 인하대학교 전자전기공학부 조교수.
- 관심분야 : 비선형 샘플치제어, 편대비행 제어, 디지털 재설계.