

## 무인잠수정 기반 기뢰대항전체계 개발을 위한 소요기술 분석

### An Analysis of Required Technologies for Developing Unmanned Mine Countermeasure System Based on the Unmanned Underwater Vehicle

이 기 영\*

Ki-Young Lee

#### Abstract

One of the most significant UUV(Unmanned Underwater Vehicle) applications is MCM(Mine Countermeasure), which makes good use of UUV characteristics to provide covert, rapid, controlled and efficient survey of a potential minefield without risking a human operator. In this paper, a survey of the today's MCM missions where UUVs will play a role, the vehicle systems that are either under development or planned in the future are presented. And examines principal technical challenges and outline new enabling technologies. Particularly, this paper analyses current approaches to tacking these technologies and technological limitation of UUVs as a MCM platform, and research efforts to develop the technology necessary to meet the domestic MCM mission needs.

Keywords : Mine(기뢰), Unmanned Underwater Vehicle(무인잠수정), Mine Countermeasure(기뢰대항전), Mine Sweeping(기뢰소해), Mine Hunting(기뢰탐색), Mine Disposal Vehicle(기뢰처리정)

#### 1. 서론

해상기뢰는 단 한발로 고가의 대형 함정을 파괴할 수 있을 뿐 아니라 항만이나 항로상 적의 접근을 거부하거나 지연시키는 가장 경제적이고 효과적인 해군 무기체계 중의 하나이다. 기뢰는 비교적 적은 비용과 다양한 방법으로 해상, 수중, 연안, 해변, 육지 등에 광범위하게 부설할 수 있어 해군의 전력운용에 중대한 걸림돌이 될 수 있다. 또한 기뢰는 탐지가 매우 어려워 적에게 막대한 피해를 유발시킬 수 있을 뿐 아

니라 심리적인 부담을 가중시켜 현재는 물론 미래에도 지속적인 사용이 예상된다.

기뢰는 미국의 독립전쟁 당시 화약을 충전한 맥주통인 통기뢰를 사용하여 영국함정을 공격한 이래로 약 200년 이상의 역사를 가지고 있다. 한국전쟁 당시 북한은 50년 이상이 된 저급한 기초적인 기뢰를 사용하여 250척 50,000여명에 이르는 미군의 원산상륙을 1주일간이나 저지하였을 뿐 아니라 이의 소해과정에서도 수척의 함정을 손상시킨 바 있다. 1980년대 말의 이란-이라크 전쟁에서는 이란이 부설한 접촉기뢰에 의해 USS Roberts(FFG-58)가, 1990년대 초 걸프전에서 이라크의 계류 접촉기뢰에 의해 USS Tripoli(LPH-10)와 USS Princeton(CG-59)이 공격당하여 큰 손상을 입었다. 한국전쟁 이후 전쟁 중 손상된 미 해군 함정 18척 중

† 2011년 4월 5일 접수~2011년 5월 27일 게재승인

\* 해군사관학교(Korea Naval Academy)

책임저자 : 이기영(kylee04@hanmail.net)

14척이 기뢰에 의한 손상으로 기뢰가 해군력 운용에 가장 심각한 장애물 중의 하나임을 입증하고 있다<sup>[1]</sup>.

기뢰는 비용대 효과의 관점에서 뿐 아니라 부설에 비해 소해에 훨씬 많은 시간과 노력의 요구와 함께 위험이 동반되는 전형적인 비대칭 위협이다. 그러나 현대의 해양전은 이러한 기뢰의 위협으로부터 지체될 수 없는 빠른 템포의 기동전으로 패러다임 변화가 요구되고 있다. 그 변화의 핵심은 신기술과 정보 자산의 통합운용으로 최소비용에 의한 최대효과 지향이다. 기동전에 부합되는 기뢰대항전(MCM : Mine Countermeasure)의 능력도 신기술에 의한 정보·감시·정찰체계, 공중기반 기뢰탐색 및 무인잠수정의 출현으로 향상되고 있다. 특히 무인잠수정은 함정과 승조원에게 항상 위협 요소를 내포하고 있는 기뢰대항전을 보다 안전하게 수행할 수 있다. 선진 해양국을 중심으로 다양한 MCM용 무인잠수정의 개발과 운용계획이 체계적으로 연구되어 수행되고 있지만 우리나라의 경우에는 원격제어 무인잠수정에 의한 기뢰소해 임무에 제한적으로 활용되고 있는 상황이다<sup>[2,3]</sup>. 따라서 무인잠수정이 기뢰대항전역에의 의미 있는 작전체계로의 진입과 미래 해군력으로서의 효과적인 투사를 위해서는 무인잠수정 기반 기뢰대항전에 대한 보다 전향적인 운용개념의 연구와 더불어 무인플랫폼의 국내 독자적인 개발이 요구된다. 본 논문은 이러한 기뢰대항전에 대한 국내외적 변화 추세를 조망하고, 무인잠수정 기반 기뢰대항전 운용개념을 도출하며, 국내의 해양환경에 부합되는 기뢰대항전용 무인잠수정 독자 개발에 요구되는 기술들의 수준을 분석하여 이의 획득방향을 제시하였다.

## 2. 기뢰의 종류와 발전추세

기뢰는 Fig. 1과 같이 발화방식에 따라 조종기뢰, 접촉기뢰 및 감응기뢰로, 부설위치에 따라 부유기뢰, 계류기뢰 및 해저기뢰로 그리고 부설수단에 의해 수상함, 잠수함 및 항공기부설기뢰로 분류할 수 있다. 조종기뢰는 해안통제소에 유선으로 연결되어 조종되는 기뢰로 해안방어 및 상륙, 도하공격 저지를 목적으로 부설된다. 접촉기뢰는 선박과의 물리적 접촉에 의해 폭발되는 기뢰로 통상 목표선박의 흘수를 고려한 적정 수심에 계류되도록 양성부력을 갖는 계류기뢰 형태로 부설된다. 감응기뢰는 선박과의 물리적 접촉 없

이 선박운항에 따른 물리적 변화를 원격 감지하여 발화시켜 폭발시키는 방식으로 전자기장, 음향신호 혹은 수압변화에 감응하는 기뢰가 개발되어 있다. 수상에 자유롭게 떠다니는 부유기뢰는 잠재적인 위협성으로 상대적으로 짧은 수명을 갖도록 설계되며, 수명을 다 하면 자체 침강하는 장치가 부착되어 있다. 잠수함을 목표로 하는 지점과 상륙군의 저지를 위해서는 연안 지역에 주로 설치되는 해저기뢰는 음성부력을 갖는 기뢰로 기뢰 케이스가 해저에 위치하고 자체무게에 의해 부설위치를 유지한다.

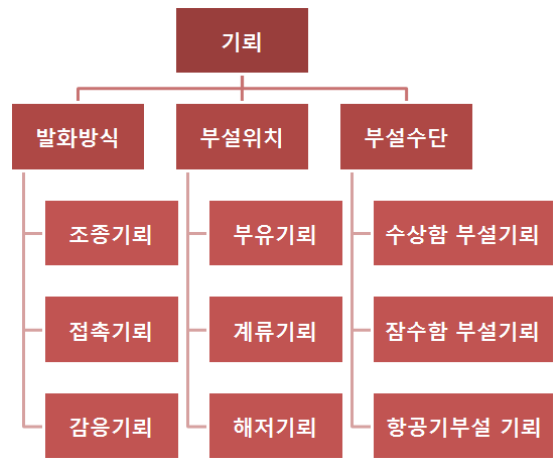


Fig. 1. Types of mine

현대의 기뢰는 이에 대응하는 기뢰를 박탈하거나 포착이 어렵도록 정교한 목표물의 감지와 점화 메커니즘 등 다기능을 갖는 지능기뢰화, 복합무기체계화 및 대기뢰대항(MCCM : Mine Counter Counter Measure)능력을 강화하는 방향으로 진화되고 있다. 예로 기뢰자체에 고도의 표적식별 능력과 자체 추진능력을 부여하여 목표물을 추적하고 파괴하는 자항식 추진기뢰는 은밀 운용이 가능하여 적함만을 효과적으로 봉쇄할 수 있다. 감응센서의 발달은 기뢰의 운용범위를 1~2mile 까지 확대하고 있으며, 외부 입력신호를 미리 세팅된 신호와 비교 분석하여 특정표적에만 작동되는 고도의 선별 능력을 갖는 기뢰도 개발되고 있다. 이는 민간선박에는 피해를 주지 않고 목표 함정이나 특정 등급 이상의 함정에만 작동되도록 설계된 기뢰이다. 아울러 잠수함의 잠항 수심 증가에 대처하여 1,000m 이상의 수심에서도 작동 가능한 계류기뢰와 탐색소나음을 흡수하는 재질을 사용하여 피탐율을 최소화시키는 대기

뢰대항능력 강화 기뢰가 개발되고 있다. 또한 일정 수의 기뢰선박을 통과 시킨 후 이후에 항주하는 보다 중요한 목표 선박을 공격하는 계수기뢰(Counting Mine)도 개발되는 등 특정 목적용 기뢰가 개발되어 있다.

### 3. 무인잠수정 기반 기뢰대항전

#### 가. 기뢰대항전용 무인잠수정

협외의 기뢰대항전은 적의 기뢰 사용으로부터 아군의 함선을 보호하고 부설된 기뢰의 제거 및 처리를 위한 적의 기뢰 관련 시설의 파괴와 봉쇄 및 소해 활동으로 정의된다<sup>[4]</sup>. 하지만 광외의 기뢰대항전은 Fig. 2와 같이 기뢰위협을 감시하고, 기뢰부설을 사전에 차단하는 전장준비의 전 단계를 포함할 수 있다<sup>[5]</sup>. 일반적으로 기뢰위협을 감시는 해상초계기와 헬기 및 중고도무인기 등의 항공전력과 수상함, 잠수함 등의 함정체계, 그리고 수중감시체계가 복합적으로 활용되며, 기뢰의 소해에는 소해함과 소해헬기가 사용되고 있다<sup>[6]</sup>. 이러한 전통적인 기뢰대항전 체계는 많은 시간과 비용이 소요되어 신속 기동작전의 현대 해양전 특성에 부응하지 못하고 있다. 이에 미 해군을 중심으로 한 선진국들에서는 무인잠수정 등 다양한 수중무인체계를 포함한 합동 정보·정찰·감시(ISR) 전력을 유기적으로 통합하는 시스템적 접근 방식의 보다 효과적인 기뢰대항전 능력을 개발하고 있다<sup>[7~9]</sup>.

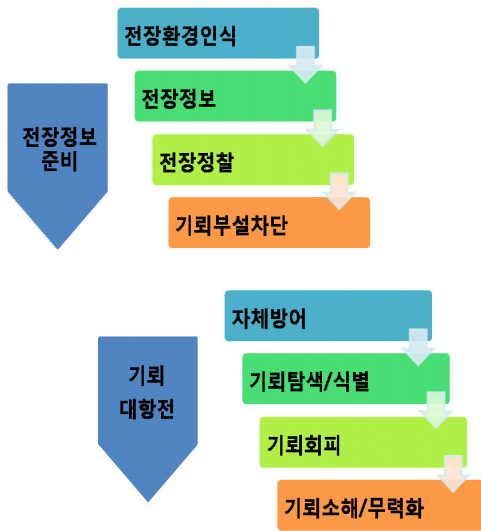


Fig. 2 MCM operating spectrum<sup>[5]</sup>

Fig. 3은 '94년부터 '10년까지 군사용으로 개발된 총 58종의 무인잠수정의 임무 비율을 분석한 것으로 기뢰대항전(MCM)에의 무인잠수정 활용이 21.5%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 감시정찰(ISR)과 해양정보수집(HYD)과 같은 광외의 기뢰대항전 관련된 임무를 포함하면 군사용 무인잠수정 임무의 55.4%가 기뢰대항전과 직·간접적으로 관련됨을 보여주고 있다<sup>[10]</sup>. 무인잠수정은 기뢰부설 예상 지역에 대한 전장정보 획득 등의 기뢰대항전 사전 준비단계 뿐 아니라 부설된 기뢰의 탐색, 식별과 소해의 기뢰대항전 전 단계에 걸쳐 효과적으로 활용할 수 있다. 이는 무인잠수정이 은밀하면서도 신속하게 그리고 운용자의 위험부담을 저감시키면서 잠재적인 기뢰부설지역의 탐색과 소해작업을 효율적으로 수행할 수 있기 때문이다. 특히 연안작전의 중요성 부각과 함께 수심이 낮은 천해영역에서의 무인잠수정에 의한 기뢰의 탐색과 소해의 유용성이 증가되고 있다.

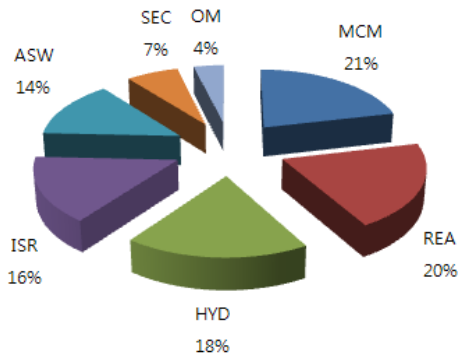


Fig. 3. Mission proportion of military UUVs

무인잠수정에 의한 기뢰탐색은 측면배열소나(SSS : Side Scan Sonar)와 전방배열소나(FLS : Forward Looking Sonar)를 이용하여 탐색 루트를 진행하면서 무인잠수정 진행방향과 밑면 및 양 측면의 해저에 설치된 기뢰 추정 물체를 탐지한다. 원격무인잠수정(ROV : Remotely Operated Vehicle)에 의한 탐색은 탱줄로 연결된 모선 앞에서 운용되며 센싱된 데이터를 모선에 전송한다. 자율무인잠수정(AUV : Autonomous Underwater Vehicle)에 의한 기뢰탐색은 기뢰대항정(MCMV : Mine Countermeasure Vehicle)을 적 위협지역으로부터 안전한 해역으로 이격시킬 수 있어 함정과 인명의 위험부담을 경감하면서 기뢰대항전 속도와 작전영역을 증가시킬 수 있다. 식별단계는 탐색 과정에서 획득된 데이

터를 바탕으로 무인잠수정을 기뢰가능 목표물에 접근시켜 기뢰 유무를 확인하는 과정으로 3차원 음향카메라 혹은 전자광학 카메라를 이용하여 여러 각도에서 목표물을 검사할 수 있는 저속의 정교한 기동이 요구된다. 통상적으로 식별단계에서는 동작제어와 실시간 데이터 전달 능력을 고려하여 ROV를 활용하고 있지만 최근에는 음향모뎀을 사용한 영상데이터 전송 기능 혹은 내장된 식별 데이터에 의한 자동식별 기능이 탑재된 AUV가 개발되고 있다<sup>[11]</sup>.

무인잠수정을 사용한 기뢰의 탐색 및 식별 운용은 임무 난이도 및 기술 성숙도에 따라 Fig. 4와 같은 운용모드를 고려할 수 있다. Off-line 모드는 모선으로부터 진수시켜 기뢰 예상지역으로 이동하여 사진 프로그램된 속도와 심도를 유지하면서 기뢰지역을 탐색한다. 탐색임무 수행 후 랑데부 지역으로 이동하여 모함과 도킹하여 회수하며, 회수된 무인잠수정의 탐색 데이터를 다운로드하여 기뢰여부를 식별하는 방식이다. On-line 모드는 모함에서 진수하여 탐색구역으로 이동 후에는 CAD/CAC(Compute Aided Detection & Classification)에 의해 자동으로 유사기뢰를 분류 및 식별임무를 수행한다. 탐색임무 종료 후에는 안전한 위치로 이동하여 관련 정보를 송신하고, 랑데부 지역으로 이동하여 모함과 도킹하여 회수하는 방식이다. 이외에 무인잠수정이 모함의 선두에서 실시간 기뢰탐색 및 항로안내의 역할을 수행하는 방식을 고려할 수 있는데, 이는 off-line 모드 혹은 on-line 모드에 의한 유사기뢰정보를 확보한 후에 수행하는 방식이다. 현재 개발되어 기뢰의 탐색 및 식별에 활용되고 있는 무인잠수정의 제원과 성능 특성은 Table 1과 같다. REMUS 100, Gavia와 같이 소형 휴대급 무인잠수정은 주로 off-line 모드에 적합하게 설계되어 있고, Dorado와 같이 중량급의 무인잠수정은 off-line 및 on-line 모드 모두 운용 가능하도록 설계되어 있다<sup>[10,12]</sup>.

기뢰의 소해는 탐색된 기뢰를 파괴하는 것으로 기뢰에 폭약을 설치하여 파괴하거나 계류색을 절단하여 기뢰를 수면에 부상시켜 소총이나 기관포로 폭발시킨다. 감응기뢰는 목표물에 자기 혹은 음향 감응신호를 발사하여 폭발하는 방법을 사용한다. 통상 자기 음향 복합소해장치를 소해정 혹은 소해헬기와 같은 플랫폼 후미에 예인하는 방식이 주로 사용되기 때문에 기뢰 폭발로 인한 소해플랫폼 및 인명 피해가 우려되는 매우 위험한 작업이기 때문에 기뢰처리를 위한 다양한 무인잠수정들이 개발 되어 있다.

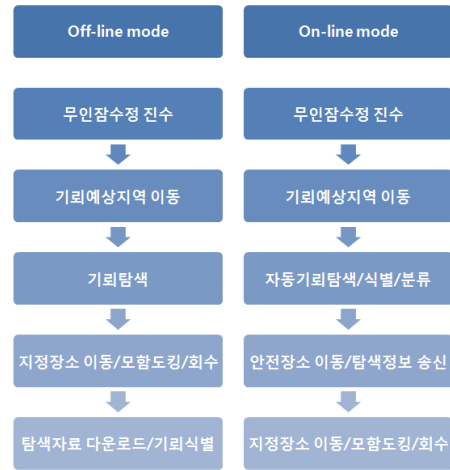


Fig. 4. Types of operating modes based on the UUV mine hunting

Table 1. Various mine hunting and detection UUVs

개발국	체계명	제원	운용성능
미국	Remus 100 	1.6m×0.19m 37kg	100m 3~5kts
	Remus 600 	3.23m×0.324m 240kg	600/1,500/3,000m, ~5kts
	Bluefin 12 	2.1~3.3m×0.3m 150~250kg	300m ~5kts
	Bluefin 21 	3.18m×0.54m 363kg	300~4,500m 3~5kts
	MRUUV 	6m×0.54m 1,361g	300m 8kts
	RMMV 	7m×1.2m 6,360kg	4.3m 12kts
노르웨이	Hugin 1000 MR 	4.5m×0.75m 650~850kg	1,000/3,000m 2~6kts
프랑스	Alister 	4.5~5.0m×0.9m 800~960kg	300m ~8kts
스웨덴	Double Eagle Mark 3 	3.0m 600kg	~8kts
	AUV62F 	3.0m×0.53m 700~1,500kg	200m ~10kts
캐나다	Dorado 	7.5m×1.0m 3,275kg	200m ~10kts
아이슬란드	Gavia 	1.7m×0.2m 48~72kg	500/1,000m 3~5kts

Table 2는 대표적인 무인기뢰제거정의 체원과 성능을 보인 것이다<sup>[10,13]</sup>. Seafox, Minesniper와 같은 소모성 소형 기뢰제거정을 기뢰근처로 진수시켜 목표물 근처에서 자폭케 함으로써 단시간 내에 소해 처리할 수 있다. 일회용 기뢰제거정은 모선으로부터의 진수에서 목표물에의 접근까지 전자동으로 작동되도록 설계되어 있다. 목표물에의 접근은 음향항법 혹은 내장소나에 의한 유도접근 방법을 사용하며, 양방향 광섬유 링크로 두 개의 카메라로부터 전송되는 실시간 영상자료에 의해 수동으로 제어할 수 있는 기능을 가지고 있다. Archerfish와 Seafox와 같은 자체추진이 가능한 소모성 기뢰제거정이 2010년 현재 약 2,000기 이상 생산되어 각국의 해군에서 사용되고 있다<sup>[14]</sup>. 원격제어의 ROV형 기뢰제거정은 모함과의 연결선에 의한 운용거리와 기동에 제약을 주기 때문에 최근에는 자율제어형의 AUV형으로 전환되고 있는 추세이다.

수심이 매우 낮은 해변가 및 천해 지역의 기뢰를 탐지하고 제거하는데 활용될 수 있는 다족형 AUV와 물고기형 AUV도 연구 개발되고 있다. 특히 가재형상의 다족형 AUV는 해안지역의 획기적인 기뢰제거 로봇으로 운용될 것으로 전망된다. 반면에 물고기형 AUV는 유연한 몸체를 움직여서 유연하기 때문에 기존 어뢰형태의 무인잠수정으로는 탐색하기 어려운 수중 협곡 등의 수중 특수지역에서의 MCM 작전에 유용하게 운용될 수 있을 것으로 예측된다.

Table 2. Typical unmanned mine disposal vehicles

체계명 (개발기관)	체원	운용성능
Archerfish (BAE Sys)	1.05m×0.14m 15kg	300m 3~6kts
K-ster (ECA)	1.45m×0.23m 50kg	300m 5kts
Minesniper (Kongsberg)	1.5m×0.2m 39kg	500m 2~4kts
SeaFox (Atlas Elektronik)	1.3m×0.4m 40kg	300m 6kts
Transphibian (iRobot)	0.78m×0.2m 18kg	

나. MCM 운용개념 발전방향

Fig. 5는 MCM용으로 개발된 자율형 무인잠수정의 체원의 변화를 보인 것이다. '90년대 중반의 개발 초기에는 비교적 대형의 고심도 운용의 무인잠수정들이 개발되었지만, 2000년대 이후에는 심도 300m 이하의 연안작전과, 200kg 이하의 중소형 무인잠수정의 개발이 주도적으로 이루어져 왔음을 볼 수 있다. 향후에도 복합내장 센서를 탑재한 보다 복잡한 임무를 수행하면서 소형 무인잠수정의 모선역할을 할 수 있는 중·대형, 고가의 무인잠수정과 탐색, 식별 혹은 소해의 단순 특화된 임무는 확장성이 용이하고 손실허용이 상대적으로 용이한 소형, 저가의 무인잠수정으로 나뉘어 각각 연구·개발될 것으로 전망된다. 영국의 경우 디젤 동력의 반잠수 모드로 작동하는 Talisman M을 모선으로 하여 이보다 작은 Talisman L을 식별단계에서 사용하고, 광섬유 링크로 모선에 부착한 4대의 Archerfish EMDV를 소해단계에 사용하는 방안이 제시되어 있다. 독일의 SeaOtter 역시 이보다 작은 SeaFox를 식별 및 소해 페이로드 형태로 장착할 수 있도록 설계되어 있는 것이 그 예이다.

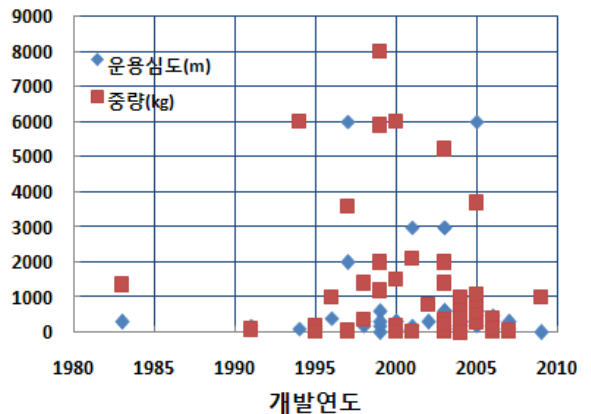


Fig. 5. Trend of MCM AUVs' dimensions

무인수상정 USV(Unmanned Surface Vehicles)도 MCM AUV 및 EMDV의 진수모선으로 활용되고 있다. 예로 프랑스의 신개념 MCM 개발계획인 Espadon은 원격조종 USV를 모선으로 한 무인 MCM 체계를 기뢰예상 지역으로 이동, 예인 소나를 사용하여 기뢰를 탐색한 후 USV 모선으로부터 다수의 AUV를 진수하여 기뢰의 식별 및 소해를 담당케 하는 방안이다. 미국의 ONR에서도 Espadon과 유사한 시스템인 RDUST(Remote

Delivery of Unmanned Systems Technologies)를 개발 중에 있다. 이 시스템은 USV를 모선으로 3대의 기뢰탐색용 BPAUV과 3대의 식별 및 소해임무용 REMUS 100을 수송하는 개념이다<sup>[15]</sup>.

#### 4. MCM용 무인잠수정 개발 소요기술

##### 가. 핵심소요기술과 기술수준

현대의 기뢰대항전은 헬기와 무인잠수정의 복합 운용체계가 가장 효율적인 대안으로 제시되고 있지만 미래에는 완전한 자율성을 갖춘 다수의 AUV에 의해 수행될 것으로 예상된다. 그러나 이를 구현하는 핵심인 자율지능제어 기술은 아직 성숙되지 않은 기술이기 때문에 현재로서는 다기능적 설계보다는 단순·특화된 임무의 완전성 추구가 더 합리적인 방안이다. 따라서 기뢰의 탐색과 식별 그리고 소해를 위한 무인잠수정 개발에 필요한 핵심 소요기술은 작전운용시간과 속도 증대에 요구되는 에너지원 기술, 기뢰의 탐색과 식별에 필요한 탐지센서 등의 임무장비 기술, 수중항법, 통신 및 네트워크 기술 등이 우선적으로 고려되어야 하며, 궁극적으로는 자율지능제어기술이 연구·개발되어야 한다<sup>[3,16]</sup>.

에너지원 기술은 무인잠수정 운용을 제한하는 기술요소 중의 하나로 수중에서의 장기체재와 센서 및 통신에 소요되는 전력을 장시간 제공할 수 있는 고밀도의 에너지원이 요구된다. Table 3에 보인 바와 같이 Li-ion 배터리는 상용 배터리 기술 중 높은 수준의 에너지 밀도로 소형 혹은 중형 AUV가 하루 정도의 작동을 유지할 수 있는 에너지 용량을 보유하고 있다. Li-ion 배터리의 파생형인 Li-Polymer 배터리는 수중로봇용 배터리로써 가장 높은 에너지밀도와 500회 이상의 충전사이클의 긴 수명과 작동심도에 덜 민감한 특성으로 중·소형 무인잠수정의 활용이 증대되고 있다.

Li-Polymer 배터리를 사용한 HUGIN 1000-MR의 경우 단독 임무의 경우 50km<sup>2</sup>까지 기뢰탐색 임무를 수행 가능하고, 은밀성이 요구되는 경우에는 20헤리 밖에서 진수하여 5시간 동안 25km<sup>2</sup> 지역을 탐색하고 모기지회수함을 보고하고 있다<sup>[17]</sup>. 하지만 에너지원 기술은 운용시간의 증대와 시스템 질량 및 크기 저감 측면에서 아직 개선이 요구되는 기술이며, 내장 컴퓨터와 센서 등의 비추진부하에 소요되는 에너지의 저감과 소형화 노력도 병행되어야 할 분야이다.

Table 3. Comparisons of UUV's battery techniques

배터리 기술	에너지밀도 (Wh/kg)	전력밀도 (W/kg)	최대운용 시간(h)	최대 충전 사이클
Lead Acid	22~40	100	3	100~700
AgO-Zn	88~170	400	9	30~80
Ni-Cd	27~45	100~120	3	100~1500
Ni-MH	50~70	90~145	8	500~1500
Li-ion	120~144	220	11	500~1000
Li-Polymer	161~195	580	18	500~

MCM용 무인잠수정의 임무 중 가장 큰 비중은 기뢰를 탐지하고 식별하는 능력에 있다. 일반적으로 MCM 센서는 최소한 0.5m 크기의 물체를 발견하고 이를 식별할 수 있는 능력이 요구된다<sup>[18]</sup>. AUV에 탑재되는 기뢰탐색 센서에는 넓은 지역을 신속하게 탐지할 수 있는 측면배열소나(SSS)와 전방배열소나(FLS)가 가장 일반적이고 최근에 고해상도의 합성개구면소나(SAS : Synthetic Aperture Sonar)가 개발되고 있다. 현재의 SSS는 예인형 소나의 경우 해상도가 100kHz에서 1.2m 이하이고 탐색거리에 따라 탐색영역 및 해상도가 변화된다. 해상도의 향상을 위해서는 센싱 주파수 혹은 배열 길이의 증가와 더불어 시스템의 전력소모량의 증가로 고해상도의 SSS를 무인잠수정에의 적용은 다소 문제가 있다. 이를 극복하기 위하여 다중펄스탐지기법(multiping detection)과 수직단일펄스(vertical monopulse) 신호처리기법에 의한 식별 확률을 높이는 소형, 저전력, 고해상도의 SSS와 FLS가 개발되고 있다. MCM에서 가장 유망한 센서 시스템은 SAS로 배열의 크기가 작아도 100kHz에서 5cm 이하의 높은 해상도의 표적 영상 획득이 가능하기 때문에 향후 MCM AUV의 핵심 탐색 센서가 될 것이다. Hugin 1000-MR에 탑재한 Kongsberg HISAS 1030은 전체 유효영역에서 2.5cm의 해상도로 시간당 1~2.5km<sup>2</sup> 지역의 높은 탐색능력을 보고하고 있다<sup>[17~19]</sup>. 매설기뢰의 경우에는 고분해능의 100~300kHz 대역의 고주파 센서를 사용하여 탐색하고 있으나 기뢰를 덮고 있는 퇴적층 통과시 신호의 왜곡과 시간지연 및 감쇄로 인한 기뢰탐지에 어려움이 있어 초전도, 광섬유 자기센서를 이용한 매설기뢰의 탐색에 대한 연구 개발이 요구된다<sup>[20]</sup>.

무인잠수정과 같은 무인체계에 의한 MCM 작전은 통괄해야하는 정보의 질과 양에 의해 제한됨과 아울러 은밀성을 유지하기 위해서는 항법과 통신 모두 수상으로의 노출을 최소화하면서 수중에서 이루어져야 하므로 수중통신 및 항법기술 수준에 크게 좌우된다. 특히 천해에서의 통신과 음향기반 항법은 수면과 해저면에서의 반사파가 모두 근접해 있기 때문 훨씬 더 복잡하고 어려운 문제이다. Fig. 6은 현재 개발되어 사용되고 있는 수중통신의 성능을 보인 것이다. 수중음향통신은 대부분 5kHz~30kHz의 대역폭에서 2~5kbps 전송속도와 10km 범위에서 전송할 수 있는 수준이다. 이를 실시간 영상 데이터를 전송할 수 있는 수준으로 향상시키기 위해서는 특정 환경에서 음향의 전파 특성을 예측하고 활용하는 능력과 차세대 음향전파 모델, 신호처리기술 등의 지속적인 연구 개발이 필요하다.

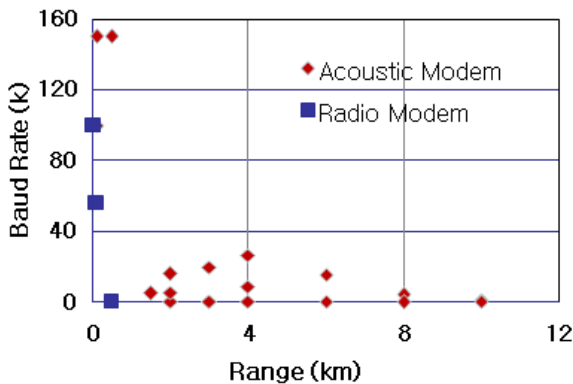


Fig. 6. Range & transmission rate of various underwater communication systems

수중항법은 기뢰지역으로의 이동, 기뢰의 탐색 뿐 아니라 모함과의 랑데부 지역으로의 이동 등 임무의 성공적 임무 수행의 핵심기술 중 하나이다. 그러나 관성센서의 경우 시간당 1NM의 오차로 항주시간에 따라 오차가 누적되어 증가하기 때문에 하나의 항법센서나 기술을 사용하여 수중에서 정확한 위치를 산출하는 것은 매우 어렵다. 더욱이 MCM과 같이 적진에서의 작전에서는 항법오차가 작은 LBL이나 수상 모선이 필요한 USBL을 활용할 수 없다(Table 4). 따라서 무인잠수정의 수중항법은 관성시스템과 도플러속도계 등으로 구성된 복합항법기술이 항주거리의 0.1% 이내의 정확도로 개발되고 있다. 하지만 고성능의 복합

항법시스템은 대형 무인잠수정에는 적합하지만 소형 MCM용 무인잠수정에는 오히려 저가의 관성시스템과 결합된 대체 기술인 저주파 전자기와 혹은 지형대조 항법 등이 특정 환경에서 보다 유용할 것으로 판단된다<sup>[21~23]</sup>.

자율제어기술은 무인잠수정의 생존성을 증가시키고 복잡하고 동적인 전술환경에서의 통신 및 인적 감독을 최소화하여 항법도구 및 통신중계에 의한 여러 대의 잠수정간의 협동 작전을 가능케 하고, 상황 인식 수준을 증대시키는 기술로 통신, 항법 및 다양한 임무 센서 데이터의 융합과 이의 처리 및 사용 능력을 포함한다. 기뢰와 다른 위협물을 적시에 탐지, 식별 및 소해할 수 있는 능력을 위해서는 기뢰와 여타 목표물의 명확한 확인이 가능한 고해상도의 음향 및 광학센서 패키지 기술과 신호 및 정보처리 기술, 탐지된 기뢰를 자동식별과 분류를 위한 CAD/CAC/CAI(Computer Aided Detection, Classification, Identification) 기술, 능동소나 표적인식 기술, 수중표적 인공지능 식별기술, SAS 신호처리 기술이 요구된다. 무인잠수정 선단에 의한 MCM 작전을 구현하기 위해서는 개별 AUV가 수집한 정보를 임무에 참여중인 AUV 선단 전체에 공유하고, 각각의 정보를 효율적으로 관리하고 통합하는 선단정보관리(Fleet Data Manage) 기술과 공통의 임무 하에서 개별임무를 효율적으로 수행하기 위한 선단행동결정(Fleet Behavior) 기술의 개발도 요구된다<sup>[24~26]</sup>.

Table 4. Comparison of underwater navigation system<sup>[23]</sup>

항법 시스템	정확도	소요 동력	주요 제한점
GPS	1m~150m	O(1W)	Surface only
DVL/AHRS	~1%	25W	심도 1m~500m
CVL/AHRS	~1%	25W	> 500m
LBL	5cm@100m 3m@10km	O(5W)	calibration & deployment
USBL	0.1%~10%	O(30W)	telemetry from surface
INS	1nm/h	12~20W	alignment
INS-DVL	0.05%~0.1%	25~40W	alignment

AHRS : Attitude and Heading Reference System  
CVL : Correlation Velocity Log

무인잠수정의 진수와 임무 종료 후 모함으로의 회수는 실제의 작전 환경은 매우 위험하기 때문에 무인체계의 수용을 지체시킬 수 있는 기술 분야 중 하나이다. 가장 일반적인 회수방식은 무인잠수정이 자율로 수면에 접근한 다음 단거리 무선제어에 의해 인양대로 들여보내 데크 크레인으로 올리는 방법을 사용한다. 무인잠수정 모선 혹은 잠수함 모선으로부터의 진수 및 회수 시스템은 매니플레이터가 부착된 ROV 혹은 로봇팔에 의한 회수 등 다양한 기술들이 개발되고 있다. 최근에는 선체 일부를 절개하여 진수 및 회수하는 conformal docking 방식도 연구되고 있다.

#### 나. 국내의 소요기술 개발 및 획득 운용 방안

고밀도의 동력원, 통신 및 항법기술, 센서 및 임무장비기술, 자율제어기술, 도킹 및 회수 기술 등의 소요 단위기술들은 모두 각 분야의 최첨단 수준의 기술들로 관련 기술들의 독자적인 개발을 통한 확보는 국가 전략적으로도 가치가 있을 뿐 아니라 해양건설분야 등 민수에서의 활용도가 매우 클 것으로 예상된다. 하지만 소요되는 대부분의 핵심기술에 대한 국내의 기술수준은 미흡한 분야가 대부분으로 핵심기술 및 부품의 확보에 대한 해외의존도가 매우 높은 상태에 있다. 또한 독자적인 MCM UUV의 개발을 위해서는 한반도 서해와 동해의 상이한 해양 운용환경도 고려되어야 한다.

무인잠수정의 동력원으로 가장 많이 활용되고 있는 리튬-이온 전지기술의 국내기술수준은 비교적 선진국에 근접한 것으로 평가된다. 따라서 단기적으로는 중소형 저수심의 무인잠수정용 동력원으로서의 적용 연구로부터 시작하여 운용심도 증가에 따른 에너지밀도와 충전사이클 회수 저하 저감방안에 대한 연구 개발이 필요하다. 중·장기적으로는 장시간 수중체재에 의한 작전반경의 증대를 위해서는 소형의 고밀도의 에너지원과 중대형의 모선급 무인잠수정에 사용할 수 있는 연료전지와외의 복합동력 시스템의 연구 개발이 요구된다. 또한 3~5노트에 달하는 서해의 조류 극복을 위한 고성능의 수중추진시스템의 개발도 필요하다<sup>27)</sup>.

국내의 탐지센서 기술은 SSS, SBES(Single Beam Echo Sounder) 등 MCM 작전에 요구되는 기본적인 센서기술들을 일부 확보하고 있지만 정밀탐지 능력이 가능한 센서로는 미흡한 상태이다. 따라서 단기적으로 가시거리 1m 이내로 시계가 극히 제한된 서해 지역에서의 기뢰탐지 및 식별을 위해서는 기존의 영상 카메라

라의 한계를 극복할 수 있는 고해상도의 음향카메라와 함께 고정밀 음향센서인 SAS의 개발이 시급한 과제이다. 중·장기적으로는 수심이 낮은 지역에 부설된 기뢰와 기뢰모양의 물체들을 확실하게 식별하는 신호처리 기술의 확보와 매설된 기뢰를 탐지할 수 있는 전자기 센서의 연구·개발이 필요하다. 아울러 이러한 탐지센서들은 서해와 동해 및 남해의 해양환경 특성 변화와 MCM 임무이외에도 임무유형에 따라 필요장비를 탑재할 수 있는 모듈화 설계가 요구된다.

수중통신기술은 수중음향통신이 가장 일반적인 기술로 미국 등의 선진국을 중심으로 수중 초음파를 이용한 무선통신시스템을 연구개발한 바 있고, 수중 광학 통신시스템에 음파를 적용한 10~20Mbps의 고속데이터 전송시스템이 개발되고 있다<sup>28)</sup>. 국내의 경우 다양한 수중통신 기반 기술이 선진국에 비해 낙후되어 수중 RF 통신 기술을 개발한 사례가 거의 없는 상황이다. 따라서 단기적으로 수중광통신, 음향통신 등의 기반기술의 개발과 확장이 긴요하며, 중·장기적으로는 무인잠수정 선단작전이 가능한 수중통신 네트워크의 구축기술의 개발이 요구된다. 아울러 부설된 적 기뢰에 의해 감응되지 않는 은밀통신 기술의 개발도 고려할 필요가 있다.

국내의 수중항법 기술은 군사용 MDV의 개발 과정에서 IMU와 SSBL에 의한 복합항법기술이 일부 확보된 것으로 판단된다. 하지만 적 지역에 부설된 기뢰의 탐색을 위해서는 기존의 관성항법센서 기반의 전통적인 항법에서 지형대조항법 및 지자기대조항법과 같은 은밀성을 갖춘 고정밀도의 복합항법기술이 연구·개발되어야 한다. 국내에서도 복합항법기술들이 연구된 바 있지만 개념수립을 위한 기초연구 수준이므로 지속적인 연구가 수행되어야 한다.

다수의 무인잠수정 선단에 의한 MCM 작전을 가능케 할 수 있는 궁극의 기술은 자율제어기술이다. 다양한 센서로부터 획득된 정보를 인지하고, 분류하고, 융합하여 스스로 판단하는 완전한 자율의 수준을 10으로 할 때 선진국에서도 최근해야 인적중재가 거의 없는 단계인 8의 단계를 구현할 수 있을 것으로 예상하고 있다. 국내의 경우는 지역 및 계획경로 환경을 인식하는 2~3 정도의 수준으로 판단된다. 자율제어 기술은 컴퓨터를 기반으로 구현되는 기술이기 때문에 컴퓨터와 관련된 실시간 운용시스템 기술, 실시간 데이터베이스 기술, 분산 네트워크 기술, 다중 컴퓨팅기술과 고도의 신호처리 기술 등이 소요된다. 이러한 모든



기술들이 아직은 선진국에 비해 낙후되어 있어 H/W 뿐 아니라 S/W의 지속적인 연구 개발이 요구된다.

이와 같이 독자적인 MCM용 무인잠수정 개발에 소요되는 핵심기술의 국내기술 수준은 Li-ion 2차전지 기술, SSS 등의 일부 센서기술만이 선진국에 근접되어 있을 뿐, 고밀도의 에너지원 기술, SAS 등의 정밀 센서기술, 복합항법기술, 고속수중통신기술, 자율제어 기술 등은 확보되지 않거나 기초연구 수준으로 핵심 기술 및 부품의 확보에 대한 해외의존도가 매우 높은 상황이다. 이러한 국내의 기술환경과 현재의 수중무인 기술의 성숙도를 고려하여 단계적인 연구 개발과 획득 및 이에 부합되는 운용전략의 수립이 요구된다. 향후 성능이 보다 증대된 기뢰 위협으로부터 유인함정의 생존성을 보장하고 승조원의 보호와 모함의 MCM 작전반경 및 운용능력을 확대하기 위해서는 무인잠수정의 활용이 증대되어야 한다. 즉, 우리나라의 기뢰대항전은 함정, 잠수함 및 항공기 등의 유인체계와 무인잠수정에 의한 무인체계의 복합기뢰대항전 체계를 다음과 같이 단기, 중기, 장기적인 계획아래 구축하여 운용되어야 한다.

단기적으로는 자율형 무인기뢰소해정과 무인기뢰탐색정의 독자적으로 개발되어야 한다. 즉, 기뢰대항전 단계에서 인명손실 및 모함의 손상이 우려되는 가장 위험한 임무단계에 일회용 소모성 기뢰제거정의 독자 개발과 더불어 소해함 이외의 소해헬기 등의 다양한 유무인 플랫폼에서의 운용경험 축적이 요구된다. ROV형 무인기뢰처리정은 현재 국내의 기술 수준으로도 독자 개발 가능한 단계로 판단된다<sup>29)</sup>. 무인기뢰탐색정은 단기적으로 Remus 100 정도의 휴대급의 독자 개발과 함께 정밀 기뢰탐지 센서인 SAS의 독자개발로 탐색 및 식별 임무로 확장과 아울러 은밀작전을 위한 잠수함 진수 가능 AUV형 무인탐색정의 개발이 필요하다. 휴대급의 무인잠수정의 독자 개발과 운용은 완전자율 무인체계에 의한 임무 수행에 앞서 수상함, 잠수함 및 항공기 등의 유인플랫폼에 무인체계의 운용에 요구되는 H/W 및 유무인 복합체계 운용기법의 축적에 유리할 것으로 판단된다.

중·장기적으로는 다수의 소형 기뢰탐색 혹은 소모성 기뢰제거정을 수송하는 영국의 Talisman M 혹은 스웨덴의 Double Eagle급의 중형급 모선의 개발이다. 이는 무인잠수정의 은밀성을 이용하여 적 항구 또는 기뢰부설지역의 음향 및 영상정보 획득 후 부상하여 획득된 정보를 모함으로 직접 혹은 위성을 통해 아군 작

전부대에 송신함으로써 유인 플랫폼의 작전반경을 확대하고 위험지역, 위험임무의 작전수행 도구로의 사용이다. 궁극적으로는 무인체계 네트워크 모함의 원격 센서 및 공격수단으로 저비용의 무인체계를 최전선에 대량으로 동시에 투사함으로써 넓은 지역을 신속하게 탐색 및 소해함으로써 기뢰 뿐 아니라 적 잠수함 등의 적 해양세력의 무력화와 아 해군력 활동 보장에 중추적으로 활용할 수 있다. 아울러 무인잠수정 체계의 개발과 병행하여 수상함, 잠수함 및 항공기 등의 유인 플랫폼에서의 운용이 가능하도록 설계, 개발 혹은 체계보완이 단계적으로 이루어져야 한다.

## 5. 결론

본 논문에서는 변혁에 직면해 있는 기뢰대항전의 변화 추세를 조망하고, 수중로봇 기술 발달에 따른 무인잠수정에 기반을 둔 기뢰대항전 운용개념을 도출함과 아울러 국내 독자적 기뢰대항전용 무인잠수정 개발에 필요한 핵심 소요기술의 획득방향과 단계적 운용방향을 제시하였다.

미래의 기뢰대항전에는 자율제어, 수중항법 및 통신, 에너지 저장, 센서기술 등의 발전과 더불어 무인잠수정 기반의 MCM 시스템이 점차 일반화될 것이다. 이러한 시스템은 모든 심도에서 인적 손실 위험이 없이 수상함과 잠수함의 기뢰 회피와 무력화를 제공해 줄 것이다. 무인잠수정 기반의 MCM 작전의 국내에의 성공적인 도입은 우선 인명 손실 위험이 높은 소해임무에 ROV와 같은 유인제어 시스템에 의한 일회용 소모성 무인기뢰처리정의 독자개발로부터 시작하여 기뢰의 탐지 및 식별 임무에 적합한 휴대용 AUV의 개발에 의한 유무인 복합 MCM 체계의 단계적인 구축이 요구된다. 인적중재를 완전히 배제한 기뢰대항전용 무인잠수정 선단의 구성 및 운용으로의 확장은 기술 성숙도에 따라 장기계획으로 구축하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

이를 위하여 단기적으로는 국내 해양환경에 부합되는 요구 성능을 갖출 수 있도록 고밀도의 에너지원과 고성능 수중추력기의 개발 그리고 SAS 등의 정밀탐지센서 기술의 개발이 선행되어야 한다. 중장기적으로는 작전운용반경과 운용능력을 확대하기 위해서는 수중광통신, 수중음향통신 등의 수중통신 네트워크의 구축 기술, 은밀성을 갖춘 고정밀도의 복합항법기술 그

리고 자율제어 기술의 개발이 필요하다. 아울러 MCM 무인잠수정이 임무확장에 유연하게 대처할 수 있는 모듈화된 선체의 설계와 무인체계 운용을 위한 유인플랫폼의 단계적 보완이 요구된다.

## 후 기

본 논문은 LIG Nex1(Y10-032)과 (주)한화의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] Baer, G. W., One Hundred Years of Sea Power; The U.S. Navy, 1890~1990, Leland Stanford Jr. University, 1994.
- [2] National Research Council of The National Academies, Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, The National Academies Press, 2005.
- [3] 최중락, 무인잠수정(UUV) 개발추세 및 핵심기술 분석, 국방과학기술플러스, Vol. 65, 2008. 8.
- [4] 해군본부, 해군기본교리, 2007. 9.
- [5] U.S. Navy, The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan, 2004.
- [6] 해군본부, 네트워크중심전 교범회장, 2008. 12.
- [7] Rumsfeld, D. H., Transformation Planning Guidance, Joint Vision 2010, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2003
- [8] Shalikashvili, J. M., Joint Vision 2010, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1996.
- [9] Shelton, H. H., Joint Vision 2020, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2000.
- [10] The World AUV Market Report 2010-2019, Douglas Westwood Ltd., 2009.
- [11] The AUV Gamechanger Report 2008-2017, Douglas Westwood Ltd., 2007.
- [12] Janes International Defense Review, 2001.
- [13] The Emerging UMV and UGV Markets 2008-2018, Visiongain Ltd., 2007.
- [14] 이충희, “무인잠수정 시장동향 및 생산전망 분석”, International Defense Market Focus, Vol. 3, 2010. 3.
- [15] U. S. Navy, The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan, 2007.
- [16] Nicholson, J. W., and Healey, A. J., “The Present State of Autonomous Underwater Vehicle(AUV) Application and Technologies”, Marine Technology Society Journal, Vol. 42, No. 1, pp. 44~52, 2008.
- [17] Hargen, P. E., Storksersen, N., “The HUGIN AUV for Force Protection in the Littorals”, Systems Concepts and Integration Symposium, Ottawa, Canada, 25~27 Sept., 2006.
- [18] Evans, B., Baralli, F., Bellettini, A., Bovio, E., Coiras, E., Davies, G., Groen, J., Myers, V., and Pinto, M., “AUV Technology for Shallow Water MCM Reconnaissance”, UDT Europe, Undersea Defence Technology Europe, Naples, Italy, 5~7 June 2007.
- [19] Hagen, P. E., Hagen, R. E., & Midtgaard, O., “Underwater Acoustic Measurements; Technologies & Results”, 2nd Int'l Conference & Exhibition, Heraklin, Greece, 2007.
- [20] 오원천, “수중 탐지 기술 발전 추세”, 국방과학기술플러스, Vol. 28, 2007. 2.
- [21] McEwen, R. H., Thomas, D., Weber, D., and Psota, F., “Performance of AUV Navigation System at Arctic Latitudes”, IEEE J. of Oceanic Engineering, Vol. 30, No. 2, pp. 443~454, 2005.
- [22] Ribas, D., Ridao, P., Tardos, J., and Neira, J., “Underwater SLAM in Man-Made Structured Environments”, J. of Field Robotics, DOI 10. 1002, pp. 1~24, 2008.
- [23] Sibenac, M., Podder, T., Kirkwoos, W., and Thomas, H., “Autonomous Underwater Vehicles for Ocean Research : Current Needs and State of the Art Technologies”, Marine Technology Society Journal, Vol. 38, No. 2, pp. 63~72, 2004.
- [24] Ciany, C., Zurawski, W., Dobeck, G., “Real-time Performance of Fusion Algorithms for Computer Aided Detection & Classification of Bottom Mines in Very Shallow Water Environment”, Proc. Oceans, Sept. 2003.
- [25] Sariel, S., Balch, T., & Erdogan, N., “Naval Mine Countermeasure Missions”, IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 45~52, 2008.

- [26] Stack, J. R., and Manning, R. C., "Increased Autonomy and Cooperation in Multi-AUV Naval Mine Countermeasures", Proc. of Undersea Defense Technology, 2004.
- [27] 이기영, 서주노, "무삭식 수중로봇 에너지원에 관한 고찰", 한국수중로봇연구회 추계학술대회논문집, pp. 101~106, 2010.
- [28] 김석찬, "수중 통신 기술의 동향 및 발전방향", 한국수중로봇연구회 춘계학술대회논문집, pp. 64~65, 2010.
- [29] 김기훈 외 11인, "자율항해 무인기뢰처리기 개발", 한국수중로봇연구회 추계학술대회논문집, pp. 116~119, 2010.