

I. 해양과 국방

해양은 오랜 옛날부터 우리 인류와 밀접한 관계를 맺어왔다. 교역과 문명 전파의 통로 역할을 하였던 해양은 막대한 부와 번영을 가져다주었기 때문에, 해양 주도권을 둘러싼 경쟁은 새로운 체계로 전이하는 단초 제공, 혹은 새로운 질서로의 재편을 강요하는 등, 당대의 거대하고 강력한 제국들의 흥망성쇠에 직간접적인 영향을 끼쳤으며, 현재뿐만 아니라 미래에도 그 영향력이 지속될 것이다.

오늘 날에는 해양 관련기술의 발달로 해양이 갖는 그 무한한 잠재적 가치가 새롭게 인식되고 있으며, 94년 유엔 해양법 발효 이후 세계 각국은 치열한 해양 경쟁시대에 돌입하여 해양영토 확장과 개발 경쟁에 본격적으로

건을 갖추고 있다. 즉, 3면이 바다로 둘러싸여 있으며 남한 면적의 4~5배에 이르는 경제수역을 보유하고 있고 국토의 약 3%에 이르는 갯벌과 넓은 대륙붕이 형성되어 있어 해양자원이 풍부한 천혜의 조건을 갖추고 있다.

또한, 우리나라는 세계 10위권의 교역국으로 해상 수송이 필수적인 만큼 해양은 우리 민족 번영의 원동력을 제공하는 무대라고 할 수 있다.

따라서 우리나라의 미래 자원과 해상교통로 확보 차원에서 영유권 분쟁에 효율적으로 대처하는 대응 능력 확보야말로 우리의 미래에 직결되는 국방력 건설의 요체 중 하나라고 할 수 있다.

본 고에서는 해양, 그 중에서도 수중에 국한하여 광기술 적용 현황에 관해 기술하고자 한다.

특집 1 ■ 국방광기술

해양 광기술 적용 현황 및 전망

김대연*

뛰어들고 있다.

지난 9월 일본은 자신들이 실효지배하고 있는 센카쿠 열도(다오위다오, 중국)에 대해 국유화 선언을 한 이후 중국의 강력한 반발에 직면하고 있으며 양국 간 긴장이 고조되고 있는 실정이다.

또한, 인접국가 간에는 배타적 경제수역(EEZ) 선포에 따라 해양 분할 경쟁도 가속화 되고 있는데, 우리나라의 독도 및 이어도에 대해 일본과 중국이 각각 분쟁을 유발하고 있다.

우리나라는 해양국가로 발돋움할 수 있는 입지적 호조

2. 해양과 음향의 역할

TV나 다른 영상 매체를 통하여 돌고래나 고래의 울음 소리를 많이 접해 보았을 것으로 생각한다. 남극과 북극에 있는 고래들이 서로 소통할 수 있을 정도로 아주 멀리까지 음파가 전달됨으로 해양, 특히, 바다 속에서는 음파를 이용하여 정보를 전달하고 수집한다는 사실은 이제 상식으로 통한다. 이러한 상식이 바다 속에서 운용되는 장비에 그대로 적용되며, 잠수함, 어뢰 등에서 유용한 도구로 사용되고 있다.

* 국방과학연구소 제6기술연구본부

해양 광기술 적용 현황 및 전망



그림 1. 압초와 충돌한 미 핵잠 샌프란시스코호

2005년 1월 초 AP 등 외신은 미 해군 핵잠수함 '샌프란시스코'호가 해저에서 압초와 충돌해 심하게 파손되었다고 보도했으며, 미 해군은 파손된 핵잠수함의 사진을 공개했다.

사건은 팜으로부터 남동방향으로 360마일 떨어진 지점, 수중 500피트 지점에서 발생했는데 최고 속도로 순항하던 잠수함이 지형지물과 충돌하여 137명의 승무원 중 60 여명에 달하는 사상자를 내었다. 미 해군은 오래되고 부정확한 해저 지도가 사고 원인이라고 파악하고 있다.

잠수함이 바다 속을 항해하는 것은 마치 소경이 길을 가는 것과 같아서 눈과 귀의 역할을 담당하는 장비가 필요하다. 즉, 자기의 위치(항해 수심 등)를 정확히 알아야 하며, 바다 밑의 지형을 파악해야 안전하게 움직일 수 있으므로, 이를 위한 수단으로 음파를 발생하고 수신할 수 있는 여러 가지 장비를 이용하는 것이다.

바다 속에서 전자파의 전파(propagation)는 육상에서와는 달리 조금만 바다 속으로 들어가도 아주 빠르게 그 크기가 감쇠하여 정보 전달 및 수집에 근거리를 제외하고는 이용에 크게 제약을 받는다. 즉, 전자파신호가 수중을 투과하기 위해서는 엄청난 에너지가 필요하기 때문에 수중에서 작업을 수행하는데 전파의 이용은 한계가 있을 수밖에 없으며, 따라서 바다 속에서는 음향이 주도적인 역할을 담당하고 있다.

이와 같이 음파를 보내고 수신하는 도구를 소나(SONAR: Sound navigation and ranging)라고 하는데, 음향을 이용한 일종의 '수중 레이더'라고 할 수 있으며 많은 개수의 음향센서 배열로 이루어져 있다.

한편, 1980년대 이란-이라크 전쟁시 교전 양국에 의해 페르시아 만 및 인근 해역에 설치된 수중 폭발물은 종전 후에도 여전히 민간 함선들의 통행에 크나 큰 위협이 되



그림 2. 수중폭발물에 의해 파손된 함정(1988년4월)

어, 안전을 위한 수중 폭발물 제거에 수백 배 이상의 비용과 장비 및 인력이 투입되었다.

특히, 수중에 임의로 놓인 물체는 해저류에 따라 그 위치가 변경될 수 있으며, 매몰되어 그 존재 유무를 알아 볼 수 없어 예기치 못한 사태를 초래할 수 있다.[2] 따라서 수중에서의 물체 탐지는 이들을 포착하고(Detection), 위치를 알려(Localization), 분류하여(Classification) 위협 대상 여부를 확인하는(Identification) 일련의 과정을 수행하는 것으로 음향을 이용한 탐지수단이 주된 역할을 맡고 있다.

대기 중의 라디오나 레이더에 비해 음파장비는 통상적으로 매우 크고, 정보 밴드 폭이 작을 뿐 아니라 파워 요구량이 큰 단점이 있지만, 원리적으로 음향학적 유사성으로 인해 대기에서의 전자파에 대한 거의 대부분의 기술을 활용할 수 있어 수중통신, 수중 물체 추적 등의 군사적 목적 뿐 아니라, 해양의 수심 및 해저 퇴적층 두께 측정, 어군 탐지 등 여러 해양학적인 현상들을 관측하는데 폭 넓게 사용되고 있다.

3. 해양과 광기술

음파가 해양에서 특성이 매우 탁월하긴 하나 완벽한 것은 아니다. 앞서 언급한 바와 같이 해양에서 음파는 그 탁월한 전파 특성으로 인해 민수 뿐 아니라 군사 목적으로도 다양하게 활용되고 있으나, 소나와 같은 음향장비의 성능은 해양 환경에 절대적으로 영향을 받는다. 한반도 근해역은 전 세계적으로 가장 해양 환경 변동이 심한 해역 중 하나로서 소나를 이용한 수중 작전에 제약점이 많다.

음파수신 성능을 결정짓는 요소는 소위 '전달 손실'과

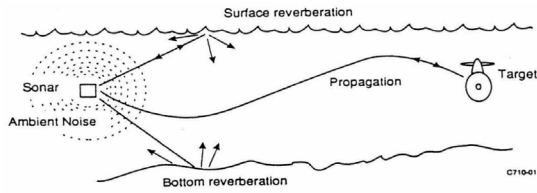
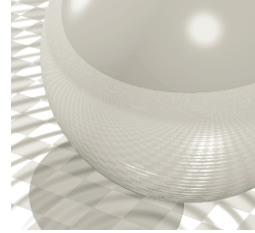


그림 3. 소나에 영향을 미치는 해양환경 요인들.

‘배경 소음준위’라고 할 수 있는데 전달 손실은 대상 해역의 특성에 따라 좌우되는 것으로 해양에서의 굴절, 반사, 흡수 및 산란 등에 의해 신호가 감소되는 것이다. 또한 수신기로부터 소리를 듣기 위해서는 기본적으로 탐지 신호음 준위가 배경 소음에 비해 충분히 높아야 하는데, 해양에서는 해면상의 바람이나 파랑, 강우 등이 주변 소음을 일으킬 뿐만 아니라 생물 소음도 존재한다. 최근에는 산업 활동에 의해 야기되는 잡음도 연안에서는 상당한 수준에 이르고 있으며, 특히 저주파 대역에서는 통행 선박에 의한 소음이 매우 중요한 요소로 작용한다.

따라서 정확성 및 효과도 제고를 위한 보완책으로 음향 이외의 각종 물리량의 변화, 즉 자장, 전장, 압력, 우주선, 생체 발광 등 소위 ‘비음향’ 신호로 분류되는 것들을 감지하여 보조적 수단으로 활용하고 있는 것이다.

그러므로 해양에서 적용되는 광기술은 음향 및 비음향 신호를 감지하며, 수신된 신호를 처리하여 필요한 정보를 획득하는데 활용되는 제반 광 관련 기술을 포함한다고 할 수 있다. 20세기 후반부터 현재에 이르기까지 연구되고 국방 분야에 적용된 대표적인 것으로는 ‘광섬유 센서 및 관련 시스템 기술’과 ‘청록색 레이저 기술’을 들 수 있다.

4. 광섬유 센서 및 관련 시스템 기술 현황 및 전망

최근 미국 BCC Research사의 보고서 자료에 의하면 광섬유센서의 세계 시장 규모는 2011년 경우 약 12억불, 2012년은 15억불 이상으로 예측될 정도로 광섬유센서는 부지불식간에 우리 생활 깊숙이 들어와 간여하고 있다.

1970년대 초반 저손실 광섬유의 등장으로 빛을 이용한 통신이 가능하게 되면서 광섬유는 많은 관심을 끌기 시작하였고, 1980년대 들어 단일모드 광섬유를 이용한 간

섭계형 센서들이 개발된 후, 광섬유 센서가 갖는 고정밀도, 소형 경량화, 원격 탐지, 다중화 및 분포계측기능, 전자기간섭 영향 및 전기적 잡음배제, 폭발위험 환경적용성 등의 장점들로 인해 그 응용범위가 급속도로 확대되었다.

현재는 의료 진단용 센서 및 산업자동화용 각종 센서 등 민수분야에 널리 적용되고 있으며, 군사용으로는 항법장치의 핵심인 자이로스코프, 수중 정밀 계측 및 탐지를 위한 음파탐지기 등에 활용되고 있다. (표 1 참조).

광섬유 센서의 종류에는 여러 가지가 있으며 그 분류방법도 다양하지만 그 기본 원리는 외부에서 가해지는 신호 혹은 그 변화에 의해 야기되는 빛의 여러 가지 특성 변화를 측정함으로써 결과적으로 외부 신호를 보는 것이다.

외부의 신호가 빛의 성질을 변화시키는 물리적 현상들 중에는 굴절을 변화, 편광상태 변화, 위상변화, 비선형 현상의 변화(Raman Scattering, Brillouin Scattering 및 Optical Kerr effect 등) 등을 들 수 있다.

위에서 언급한 빛의 특성변화를 측정하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 그 하나는 유리 또는 특수한 물질로 만들어진 광섬유 자체가 센서 역할을 하는 ‘Intrinsic Sensor’와 광섬유는 단지 빛을 전달하는 매체로 이용되며, 외부 신호에 따른 광학적 특성 변화는 광학 결정, 렌즈, 편광판 등으로 형성된 광학 시스템에서 일어나는 ‘Extrinsic Sensor’이다.

또 다른 분류방법은 ‘광세기 형(Intensity Type)’ 과 ‘간섭계 형(Interferometric Type)’ 센서로 구분하기도 하는데, 대체로 전자의 경우 그 구조가 간단하며 후자는 복잡한 반면에 그 정밀도가 높다.

광섬유 자이로스코프는 광섬유 센서 중 가장 대표적인 적용 사례이다. 1976년 Vali 등에 의해 광섬유를 이용하여 Sagnac 간섭계를 구현한 이후, 전 세계적으로 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 광섬유 자이로스코프는 기존의 기계식 자이로스코프나 링레이저 자이로스코프에 비해

표 1. 광섬유센서 탐지 신호 및 활용 분야

탐지 신호	활용 분야
각속도(Gyro) / 가속도	INS(항법장치)
음향(음압) / 자장 / 전장	수중물체탐지
압력 / 온도 / 위치 / 변위 / 진동 / 불꽃 / 연기 / 화학농도 / 유량 등	내부 모니터링

해양 광기술 적용 현황 및 전망

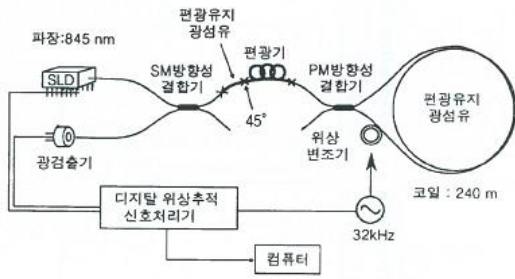


그림 4. Sagnac 간섭계 구성(예)

부피가 작고, 견고하게 만들 수 있고 수명이 길다는 장점을 가지고 있다.

현재 관성항법에 사용되는 자이로스코프에서 요구되는 감도는 0.01 deg/hr 정도로 알려져 있는데 광섬유 자이로스코프는 이 요구수준까지 이른 것으로 파악된다.[3]

이는 광통신 산업의 발달로 인한 광소자들의 개발에 힘입은바가 크다고 할 수 있다. 즉, 광섬유 자이로스코프에 들어가는 관련 소자들, 방향성 결합기, 편광기, 편광조절기, 위상변조기 등이 저손실을 갖는 형태로 개발되어서 빛이 자이로 시스템을 불연속점없이 통과하여 광검출기에 도달할 수 있게 되었으며, 높은 감도와 넓은 동작영역 및 Scale Factor의 선형성 등을 위한 여러 가지 신호처리 방식이 고안되었기 때문이다.

또한 광섬유 자이로스코프의 광원으로 사용하기 위해 희토류 원소가 첨가된 광섬유 레이저가 개발되어 기존의 광원들에 비해 중심 파장이 안정되고 넓은 스펙트럼을 가질 뿐만 아니라 광원과 감지부가 하나로 연결되어 저손실이 가능하여졌기 때문이다.

광섬유 음향센서의 경우, 미국의 NRL 및 영국의 Plessey사 등에서 연구를 시작하였으며, 현재는 압전 소자를 이용한 기존의 음향탐지 센서들과 경쟁할만한 위치에 와있다.

광섬유 센서는 하나의 광섬유에 많은 센서들을 둘 수 있어 다채널이 가능하며, 굽힘성 등이 좋아 다양한 형태의 센서, 즉 고감도 다채널의 배열형 시스템을 설계/제작할 수 있다는 장점을 가지고 있어 그 활용범위가 넓다.

1980년대 말 미국의 Litton Industries, Inc의 Guidance & Control Systems division을 중심으로 AOTA(All Optical Towed Array) 개발에 착수하여 1990년대 초에 개발시험을 마치고 실용화하였다고 알려져

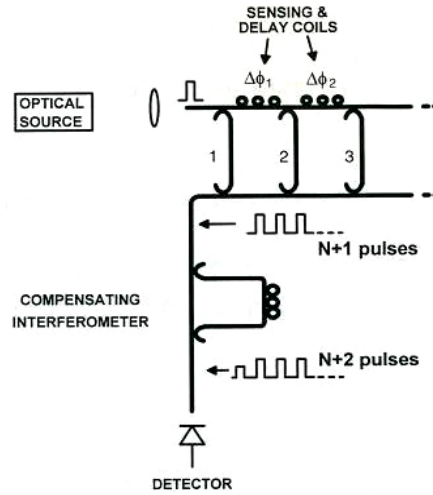


그림 5. TDM 방식 센서어레이 구성(예)

있으며, 90년대 중반에 함 부착용 소나(Hull Mounted Sonar) 및 All-Optical Planar Array를 개발하였다고 하나 후속 진행 등에 대해서는 알려져 있지 않다.

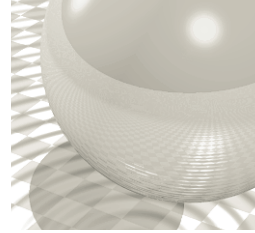
광섬유 배열 구조는 다중화(Multiplexing)가 필수적인데 이를 위해서 주파수 분할방식(FDM) 과 시분할 방식(TDM) 등이 있으며 그 외 광섬유 브래그 격자(FBG)와 파장분할다중화(WDM) 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[4][5]

광섬유 센서의 장점이 활용되는 또 다른 분야는 감시 및 통제 분야이다. 앞에서 개략 언급된 바와 같이 광원, 각종 신호 감지, 자료 송수신 등을 한 줄로 이어진 광섬유 내에서 구현이 가능하므로 복잡한 계통들을 하나의 시스템으로 단순화할 수 있어, 즉, 통합 전 광섬유 센서 시스템(Integrated All Fiber-optic Sensor System)을 구성할 수 있으므로, 함정과 같은 복합체계에서 내부 통신뿐만 아니라 화재, 온도 등 내부 감시 및 통제가 가능하다.

민수 분야에서는 최근 생체 조직진단이 가능한 광섬유에 대한 연구, 광섬유 센서를 이용한 구조안전 진단, 광섬유를 활용한 원전 격납 구조 건전성 평가(SIT) 기술 등



그림 6. 통합 전 광섬유 센서시스템 구성(예)



에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 기존 센서 및 시스템에 대한 ‘성능향상’과 ‘비용저감’이라는 두 마리 토끼를 잡는 노력 등이 꾸준히 이루어지고 있다.[6]

이 들 연구결과와 얻어지는 일부 성과들은 국방분야에 그대로 활용될 것이 기대된다.

많은 군사 전문가들은 미래의 해군 작전에서는 임의 해역에 대한 감시/통제 체계 구축과 무인화가 보편화 될 것으로 예측하고 있다. 특히, 미국은 네트워크중심전(NCW, Network-Centric Warfare) 개념을 수립하고 추진 중에 있는데, 이는 모든 전력을 네트워크로 연결함으로써 신속하고 정확한 정보유동과 상황인식을 보장하고, 임무에 가장 적합한 전투력을 적시적소에 집중 및 운용함으로써 군사력의 효율성을 극대화한다는 개념이다.[7]

광섬유 관련 기술은 이러한 감시체계 구축 및 무인화에 있어서 원격탐지 및 분포계측망 구성, 무인잠수정체계, 수중통신 분야 등에서 활용이 기대된다.[8][9]

5. 청록 레이저 기술 현황 및 전망

레이저가 발명된 후 광학분야에서는 레이저가 갖는 우수한 특성들, 단색성(monochromaticity) 및 지향성(directionality), 고휘도(high brightness) 등을 활용하여 거리측정 및 대용량 통신 등 여러 다양한 분야에서 많은 발전이 있었지만 수중에서는 지금까지 많은 제약이 있었다. 그러나 전자기파 중에서 수중창에 해당하는 청록색 영역의 레이저가 개발되면서 수중 물체탐지, 수중 통신, 수중 영상 분야에서도 사용될 수 있는 획기적인 계기가 마련되었다.

수중에서의 적용을 위한 연구는 주로 광원, 검지기(검출방법), 등에 집중되었으며 그 결과 현재 적용되고 있는 장비는 LIDAR(Light Detecting and Ranging)를 들 수 있다. LIDAR는 청록색 레이저가 수중에서도 어느 정도 깊이까지 도달한다는 특성을 활용하여 기동성이 좋은 항공기용 측심기로 개발되었으며 천해에서 해저지형측정과 수중물체 탐지용으로 사용되고 있다. LIDAR는 해상도가 매우 좋아 해저 바닥에 위치한 소형 물체를 탐지 식별할 수 있으므로 미 해군은 이를 이용하여 ALMDS(Airborne Laser Mine Detection System)를 개발하여 대기퇴전에 활용하고 있다.



그림 7. ALMDS 개념도

그러나 부유물이 많은 혼탁한 바다에서는 투과 특성이 급격히 떨어지는 단점으로 인해 주로 수심 60m 이내에서 사용된다고 알려져 있다.

청록색 레이저의 활용을 위한 핵심기술로는 광원, 수신 소자, 광-음향 전환 기술 등이 있으며, 그 중에서도 특히 광원은 앞으로 수중통신 등에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

수중통신 또는 탐지에 활용할 수 있는 청색 또는 청록색 파장의 레이저는 다양한 종류가 있으며 각각의 레이저는 크기, 효율, 정비유지성, 기술성숙도 등에서 차이가 있다.(표 2 참조) [10]

현재 청록레이저를 발생시키기 위한 가장 일반적인 방법은 Nd:YAG 레이저를 펌프광으로 사용하여 2차 고조파를 발생시키는 것으로 이를 이용하여 수중탐지장비가 개발되고 있으며 그와 함께 반복률 및 효율측면에서 더 우수한 성능을 가진 광섬유 레이저가 연구 진행 중에 있다고 한다.

표 2. 청색 또는 녹색 레이저의 종류

분류	레이저 매질 (파장, nm)	비고
고체 레이저	Nd:YAG (532)	- 수중탐지장비 적용 - 통신용 실험중
	Alexandrite (455)	- 통신용 실험중
	Ti-Sapphire (325~550)	파장가변
광섬유 레이저	Yb 첨가 (540)	- 반복률, 빔 품질
	Er 첨가 (512)	* 개발 중
기체 레이저	Eximer (459)	정비 유지 문제
	구리증기(510)	

해양 광기술 적용 현황 및 전망

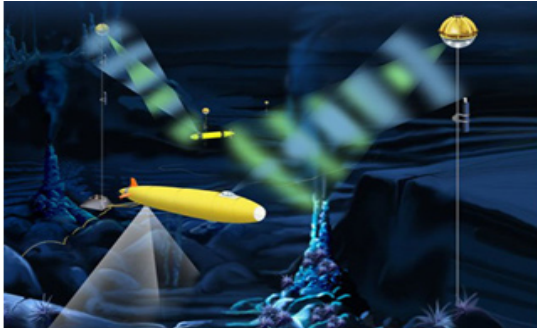


그림 8. 수중 레이저 통신 네트워크 개념도

한편, 미 해군에서는 잠수함의 은밀성 및 기동성을 유지하면서 아군 세력간 효과적인 정보교환 수단인 청록레이저(Blue-Green Laser)를 이용한 항공기와 잠수함간 통신시스템을 개발 중이다.

최근에는 정보기술, 인공지능, 가상현실 및 컴퓨터 기술이 급속히 발전하면서 특정기능을 수행하는 무인체계가 개발되고 있으며 무인수상함(USV) 및 수중에서 운용하는 무인잠수정(UUV)에 대한 많은 관심이 몰리고 있다. [11][12] 무인잠수정은 사전 프로그램 되거나 실시간 통제하에 완전 자율적으로 또는 최소한의 제어로 자체 추진하여 임무를 수행하는 잠수정을 말한다.

1990년대 이후부터 별도의 조종케이블 없이 자율적으로 운항되는 무인잠수정이 등장하였다.

미 해군은 단계별 발전계획을 수립하여 추진하고 있는데, 현재 운용하고 있는 LMRS (Longterm Mine Reconnaissance System)의 기술 수준은 자율적으로 정찰 감시, 수중 물체 탐지, 해양조사, 통신, 항해지원 등의 임무를 수행하는 단계이다.

무인잠수정에 필요한 핵심요소기술은 해저 정밀항법, 소나, 수중통신 등인데, 그 중에서도 극복해야 할 분야는 수중통신이라고 할 수 있다. 가장 발전된 개념인 MANTA 체계도 11 Mbit/sec인 RF통신에 비하여 수중통신 속도는 5 kbit/sec에 불과한 것으로 알려져 있다.

따라서 인터넷 수준의 고속 데이터 전송이 가능한 수중 레이저 통신 시스템의 개발은 무인잠수정의 활용성을 높일 수 있는 중요한 요소기술이라고 할 수 있으며 큰 기여가 예상된다.

6. 맺는 말

본 고에서는 해양, 특히 수중에서의 광기술 적용 현황 및 앞으로의 전망에 대해 개괄하였다. ‘해수’라는 운용환경 특성상 광기술은 제한적일 수밖에 없으나 광섬유 관련 기술, 청록색 레이저 기술은 앞으로 큰 활용이 기대된다.

특히, 해양주권 확립 및 미래전을 상정할 때, 핵심요소(기술)인 감시 및 통제, 수중통신, 정밀항해, 수중물체 탐지 분야에서 큰 역할이 예상된다.

참고문헌

- [1] 김대연 외, 바다와 국방기술, 물리학과 첨단기술, 2006.1월호
- [2] Delbert C. Summey et al, “Mobile Underwater Debris Survey System (MUDSS)”, CSS, Panama city, FL
- [3] 김병윤 외, “광섬유 센서 시스템 연구”, 전자광학특화센터 광섬유연구실 2단계 종결보고서, 2000.12
- [4] Kelvin Wagner et al, “Optical Processing for Sonar Arrays”, NRL, 1999.8
- [5] 남성현, “광섬유 간섭계를 이용한 하이브리드폰 배열기술 연구”, 국방과학연구소, 2000.10
- [6] “Practical Techniques to Increase Fiber-Optic Performance”, editorial, Sea Technology, July 2012
- [7] ‘Network-Centric Naval Forces: A Transition Strategy for Enhancing Operational Capabilities’, National Academy of Science, 2000
- [8] D. J. Meggit et al, “Advanced technologies for undersea surveillance”, 1999.7, UDT99
- [9] I. Shepherd, “Anti-submarine warfare ? the future” 1999.7, UDT99
- [10] 전용근, 김형록 외, “청록레이저 무기체계 적용에 관한 조사연구”, 국방과학연구소, 2011.4.
- [11] 최중락 외, “무인 잠수정 초기개념 연구보고서” 국방과학연구소 2007.1
- [12] 김대연 외, “소해용 무인 수상함 체계에 대한 조사연구”, 국방과학연구소, 2008.12

약 력

김대연



- 1981년 4월 - 현재
국방과학연구소 책임연구원
- 1988년 3월 - 1992년 8월
한국과학기술원 물리학과 이학박사
- 1972년 3월 - 1976년 2월
서울대학교 자연대 물리학과 이학사