

비음향신호(난류향적)를 이용한 대잠 탐색 및 감시체계 적용방안 연구

A Study on Anti-Submarine Surveillance Systems using Submarine's Turbulent Wake

이 용 철* 임 세 한* 박 종 진**
 Yongchol Lee Sehan Lim Jongjin Park

진 종 한*** 강 웅*** 이 문 진**** 김 윤 배*****
 Jonghan Jin Woong Knag Monjin Lee Yunbae Kim

Abstract

Using Shear-free Ship wake theory it was predicted the detectable submarine's turbulent wake on the sea surface was about 12km long when there was no breaking waves on the sea surface. It means that there are sufficient detectable turbulent kinetic energies on the sea surface as well as in the water. In this paper, we have proposed some concepts of non acoustic anti-submarine surveillance systems ; SAR for sea surface surveillance, LIDAR for sub-surface surveillance and propelled gliders for under -water surveillance.

Keywords : Turbulent Wake, Ant-Submarine Sea Surveillance, SAR, LIDAR, Propelled Glider

1. 서 론

지난 2010년 3월 발생한 천안함 사건은 음향신호 기반 대잠작전의 제한점과 조기탐지의 중요성을 극명하게 보여준 사건이라 할 수 있다. 음향신호는 해양환

경변화에 따라 탐지거리 및 신뢰도 등의 변화가 크기 때문에 효과적인 조기탐지체계로 발전시키기 위해서는 비음향(Non Acoustic) 신호를 이용한 탐지체계와의 적절한 융합이 필요하다. 이와 같은 이유로 1980년대 중반 이후 해양 선진국을 중심으로 비음향신호를 이용한 원격해수면감시^[1]에 대한 연구가 이루어져 왔으며 특히 고분해능(High Resolution) 합성개구면 레이더(SAR : Synthetic Aperture Radar)에 의한 해수면 레이더 영상은 수상함 난류향적을 식별 가능케 함으로써 항적탐색이라는 새로운 분야를 개척하였다^[2~4].

SAR영상에서 해수면에 존재하는 수 cm 크기의 해면파(Capillary Wave)는 레이더 신호를 난반사시킴으로

† 2012년 2월 1일 접수~2012년 3월 16일 게재승인

* 해군사관학교(R.O.K. Naval Academy)

** Woods Hole Oceanographic Institute.

*** 한국표준과학연구원(KRISS)

**** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

***** 포항공대 해양대학원

책임저자 : 이용철(zeuszues@hanmail.net)

써 밝은 영상으로 표현되나 난류항적(Turbulent Wake)은 해수면 표면장력 변화를 통해 해면파를 소멸^[3,4]시키어 상대적으로 어두운 영역(Fig. 1 참조)을 형성한다. 난류항적의 크기와 지속시간은 난류항적의 에너지준위, 확산정도 그리고 에너지소멸률에 의하여 결정되며, 탐색범위는 배경 난류 에너지에 대한 난류항적 에너지의 상대적 크기에 의존한다. 현재까지 잠수함 난류항적에 대한 공식적인 SAR영상은 보고되지 않고 있으나, 잠수함 난류항적 발생 메커니즘은 수상함과 크게 다르지 않다고 할 수 있다. 따라서 일정 수심 이하로 주행하는 잠수함의 난류항적은 에너지 확산에 의해 수면까지 전파될 것이며 해수면의 배경 난류 에너지보다 높은 항적부분은 Fig. 1과 같이 관찰 가능할 것이다. 이는 대잠탐색시 광역 실시간 해수면감시(Real-time Sea Surface Surveillance)가 가능함을 의미한다. 또한 수중에 존재하는 잠수함 난류항적의 경우 이미 사용중이거나 실용화 단계에 도달해있는 유/무인 탐지체계(LIDAR, UUV 등)들의 성능을 일부 개량하여 국지적인 난류항적 탐색에 활용하는 방안도 기술적으로 충분히 가능하다^[17~21]. 실제로 1994년 미국은 미 해군의 대구경무인수중항체(LDUUV : Large Diameter Unmanned Under water Vehicle)에 난류, 빛, 해수물성 등의 탐지가 가능한 센서를 탑재하여 강하구(Estuaries) 3차원 공간에서의 아주 미소한 난류 유속 변동을 측정하는데 성공^[6]하였으며, 구 소련은 잠수함에 난류측정 장치를 탑재하여 잠수함 항적을 수중에서 탐지하는데 성공^[21]하였다고 밝히고 있다.

따라서 본 연구에서는 비음향 탐지수단으로써 잠수함 난류항적을 이용한 다양한 대잠 탐색 및 감시체계의 운용방안을 제시하고자 한다.

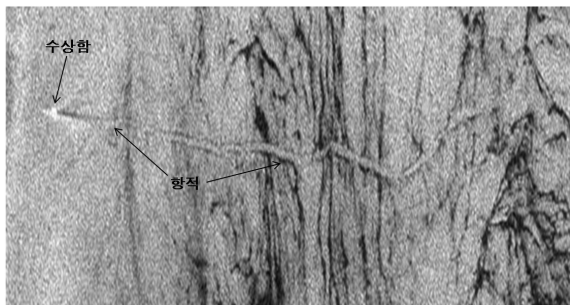


Fig. 1. SAR Image of a surface ship wake (40km × 8km)^[5]

2. 비음향 기반 대잠감시체계 개발 필요성

잠수함의 성능향상으로 인한 소음준위는 과거 160 dB에서 2000년대에는 120dB 수준으로 정숙화되었으며 이에 따라 수동형 소나의 탐지거리 역시 수백 km에서 수 km로 감소하고 있다. 더욱이 대잠작전해역이 원해인 심해에서 연안 주변의 천해로 이동함에 따라 소나를 이용한 탐지환경이 더욱 열악해 지고 있다. 소나성능은 수중음향환경에 종속적이어서 장비의 최적 성능을 발휘하기 위해선 작전해역의 해저지형 및 저질, 수온분포, 해류, 해상교통량 등의 수중음향환경 특성을 정확히 파악하여야 한다. 음파는 해역의 물리적 특성에 따라 굴절, 반사, 산란, 수렴 등 복잡한 경로를 통해 전달되며, 특히 해류의 이동에 의한 수온전선 형성 시 수온분포가 시시각각 변화되면서 수중에는 음영구역(Shadow Zone)을 형성하여 이곳에 잠수함이 위치시 탐지할 수 없게 된다. 우리나라 주변 해양환경의 경우, 서해는 평균수심 약 45m로 극 천해환경을 나타내며, 중국과는 어장이 맞닿아 있고, 수도권 주변으로 각종 물류를 운반하는 선박의 통행량이 많아 주변 소음수준이 매우 높다. 동해는 평균수심이 약 1584m로 연안으로부터 멀어질수록 수심이 급격히 깊어지며 연안을 따라 연중 동한난류가 북상하고 북한한류가 남하하며 이들의 조우로 연중 수온전선과 와동류가 형성되고, 겨울에는 강한 바람으로 인해 깊은 혼합층이 형성되는 반면, 여름에는 표층 수온의 상승으로 혼합층이 거의 사라지고 수온약층이 강화되는 등 계절에 따른 해양환경 변화가 매우 크다. 수중음향탐지체계는 이와 같은 해양환경변화에 직접적인 영향을 받으므로 음향에 의존한 대잠탐색은 매우 어려울 수밖에 없다. 이를 극복하기 위해 우리 해군은 TASS, 헬기용 디핑 소나 등 다양한 고성능 수중음향탐지체계를 운용함과 동시에 장비성능향상에 적극 노력하고 있으나 해양환경변화에 따른 수중음향탐지의 제한점은 근본적으로 해결할 수 없는 것이 사실이다.

음향을 이용한 대잠감시는 분명 우수한 탐지 수단이지만, 음향기반의 감시체계를 광역 대잠감시체계로 사용하기 위해서는 동·서해의 해양환경에 적합한 감시체계를 각각 개발하여야 하며 칩투 예상지점에 따라 다수의 음향센서를 설치해야 하고, 수신된 신호를 수집 및 분석하기 위해 해저 케이블을 설치하여 육상으로 신호를 전파해야 한다. 그러나 칩투 예상지점이 각 해역에 유일하지 않으며 한 번 설치된 음향 감시

체계는 쉽게 이동을 할 수 없고 시간의 경과에 따라 위치가 노출될 염려가 있다. 또한 이미 언급하였듯이 수중음향탐지체계의 성능이 해양환경변화에 크게 영향을 받기 때문에 신뢰성이 높은 대잠탐지체계를 구축하기 위해서는 설치와 운용이 용이하고 은밀성이 보장되며 음향에 비해 해양환경변화에 영향을 적게 받는 비음향탐지수단의 개발이 필요하다.

특히 천안함 사건에서 드러났듯이 북한은 소형 잠수함(정)을 이용한 국지적 도발을 더욱 강화할 것임에 따라 이를 대비하는 차원에서도 비음향을 이용한 대잠 감시방안이 적극 모색되어야 한다.

3. 잠수함 난류항적의 탐지 가능성

가. 비음향신호로써의 난류항적(Turbulent Wake)

항적(Wake)이란 추진체의 추진(스크류)에 의해 발생하는 매우 불규칙한 유체의 와동장을 의미한다. 대표적인 항적의 종류는 Kelvin파, Bernoulli Hump, 기포항적(Bubble Wake), 난류항적(Turbulent Wake) 등이 있다.

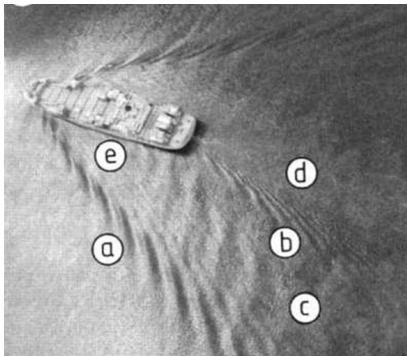


Fig. 2. Components of a Ship wake pattern^[7]

- (a) Kelvin wave, (b) Stern Wave,
- (c) Bernoulli Hump, (d) Turbulent Wake

Kelvin파는 추진체의 진행 방향을 축으로 하여 후방으로 좌·우 19.5°의 각도로 퍼져나가는 파동(Fig. 2 (a))을 의미하며 수상함 진행시 가장 쉽게 관측되는 항적이나 잠수함이 수중에서 항주 시 거의 발생하지 않는다. 수상함의 경우 기포(Bubble)항적은 자유수면과 선체의 상호작용 및 스크류의 고속회전에 의해 발생하나 잠수함의 경우 대부분의 경우 저속 운항으로 기포항적은 발생하지 않으며 발생할 경우라도 10kHz ~

400kHz의 능동음파에 의해서만 탐색가능^[8]하기 때문에 만약 기만기가 높은 에너지의 10kHz ~ 400kHz 음파를 발생한다면 기포항적을 탐지하기보다 기만기를 탐지할 확률이 매우 증가하여 회피기동이 비교적 용이하게 된다.

반면 난류항적(Turbulent Wake, Fig. 2 (d))은 모든 추진체에서 발생하며 현실적으로 기만시킬 수 있는 방법이 없다. 잠수함의 경우 난류항적은 소리를 발생하지 않기 때문에 음향으로 탐지하기 어려우나 난류항적에 의한 해수면의 변화를 관찰하는 간접적인 방법과 유속 측정장치를 이용 유체의 에너지 준위를 비교함으로써 난류항적의 존재 유·무를 판단하는 직접적인 방법을 통해 난류항적을 탐색할 수 있다. 난류항적은 기타 항적신호에 비하여 오랫동안 그 흔적을 남기기 때문에 현재 미국을 비롯한 서방 각국은 인공위성 또는 감시 기지국에 설치된 레이더(SAR : Synthetic Aperture Radar)를 이용 수상함의 난류항적을 해수면에서 관찰하고 있으며 이로부터 항만 관제, 표류선박의 표류지점 확인, 항만방어 System 등 다양한 분야에 응용하고 있다.

나. 난류항적 분포 범위 예측 및 활용 가능성

난류항적에 관한 국내연구는 Benilov^[9]의 이론을 잠수함에 적용시킨 이(2011)^[10]를 제외하면 거의 없는 실정이므로 본 절에서는 이^[10]의 연구결과를 요약 정리한다.

자유전단류(Shear-Free)가정을 이용한 잠수함 난류항적의 표현식은 아래와 같다.

$$r_0\left(\frac{x}{L_s}\right) = a\left(1 + S_T \frac{x}{L_s}\right)^{\frac{2}{\lambda+2}} \quad (1)$$

$$k\left(\xi, \frac{x}{L_s}\right) = k(0,0)\left(1 + S_T \frac{x}{L_s}\right)^{\frac{-2\lambda}{\lambda+2}} \frac{B(\xi)}{B(0)} \quad (2)$$

$$\left(S_T \equiv \frac{L_s}{U_s t_*} = \frac{\lambda+2}{2} \frac{L_s}{U_s} \frac{\beta_1 \beta_l}{a} \sqrt{\frac{k(0,0)}{B(0)}}\right)$$

여기서, $k = \frac{1}{2} u'_i u'_j$: 난류 에너지, $t \equiv \frac{x}{U_s}$, $\beta_1 = \frac{1}{Pr_k}$, Pr_k : 난류에너지 확산에 대한 프란틀 수, β_2 : 비례상수, $r_0(t)$: 난류 확산 범위, $0 \leq \beta_l = \frac{l}{r_0(t)} \leq 1$ 이며, 이와 관련된 Hoffman^[11], Tennekes, Lumley^[12] 등

의 결과 및 잠수함속도 6kts를 적용할 경우 식 (1)에 의해 예측된 난류항적의 최소 확산 반지름은 Fig. 3과 같으며, 자세한 식 전개과정 및 전체 조건은 이^[10]의 연구결과에 정리되어 있다.

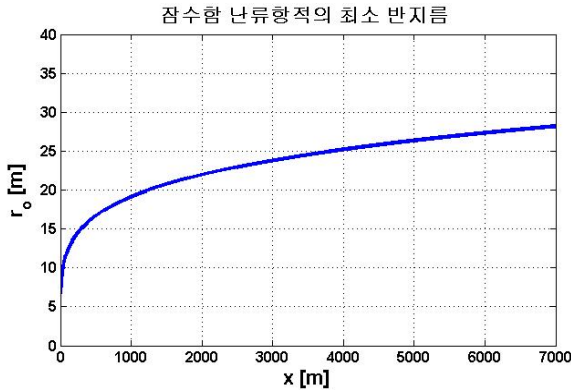


Fig. 3. Submarine Wake detection range ($\sigma = 50.28$)^[10]

Fig. 3에 의하면 잠수함 후방 약 3km 지점의 경우 지름이 50m에 달하는 난류항적 영역이 존재하며 잠수함에서 멀어질수록 그 폭은 증가함을 보이고 있다. 이는 수중은 물론 서해와 같은 천해수심 환경에서 수심 25m 깊이로 잠항하는 잠수함은 약 16분 후 난류항적이 수면위로 나타나게 됨을 의미한다. 수면위로 확산된 난류항적이 식별 가능하기위해선 난류항적의 에너지가 배경 난류의 에너지 보다 높아야 하며 해상 바람속도가 4m/s, 10m/s인 경우에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 의하면 잔잔한 해상의 경우 잠수함(수심 25m)의 난류항적은 잠수함 후방 약 3km부터 15km까지 해수면에서 관측가능하나 쇄파가 발생하는 경우는 해수면 탐색이 매우 제한됨을 보이고 있다.

4. 난류항적을 이용한 대잠 감시체계 적용 방안

3장에서 살펴보았듯이 수중에서 생성된 잠수함 난류항적은 수중에서는 물론 수면까지 확산됨과 동시에 탐색가능한 정도의 에너지를 가지고 있음은 비음향으로서 난류항적을 이용한 잠수함 탐색에 있어서 새로운 가능성을 제시한다고 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 잠수함 난류항적을 이용한 대잠탐색 및 감시체계 적용 방안에 대하여 알아보기로 한다.

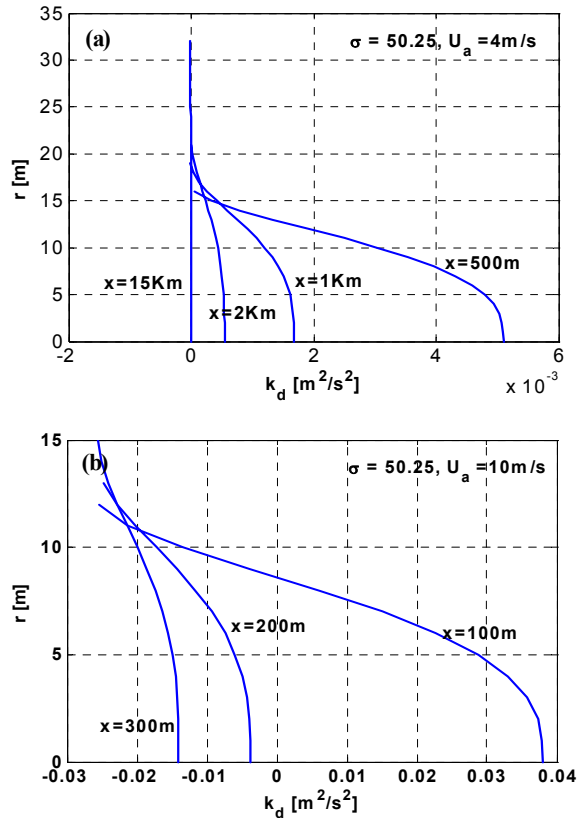


Fig. 4. Detectability of submarine turbulent wake by Kinetic Energy in depth^[10](a : with no wave breaking, b : with wave breaking)

가. SAR를 이용한 해수면 광역 실시간 감시

1978년 발사된 인공위성을 이용 해수면에서 수상항적 및 내부파를 관찰^[13]한 이후 소련에서 마이크로파를 이용 표면효과에 의해 생성되는 내부파의 반사 신호로부터 잠수함을 발견할 수 있는 방법을 보였으며^[14] 이를 확인하기 위해 미국과 소련의 과학자들이 공동으로 진행한 실험에서는 ERS-1(European Remote Sensing Satellite) 위성의 SAR영상으로부터 잠수함을 사용하지 않은 상황에서도 수면하에 존재하는 내부파를 확인한 점을^[15] 고려할 때 SAR를 이용한 해수면 감시는 대잠 조기경보 체계로 매우 적합하다 할 수 있다.

해수면으로 확산된 잠수함 난류항적의 감시 및 대잠 작전 효율을 높이기 위해선 무엇보다 작전구역 해수면 전 영역을 동시에 탐색하고 그 결과를 사용자에게 거의 실시간으로 제공할 수 있어야 하며, 이때 제공되는 결과(SAR 영상)는 사용자의 분석시간을 최소한으로 할

수 있도록 높은 정밀도와 신뢰도를 갖추어야 한다. 이와 같은 요구조건을 만족시키기 위해 유/무인 항공기에 고 분해능 해수면 감시용 SAR를 장착 24시간 운용하는 방법은 작전중심이 짧은 우리의 전장 환경을 고려할 때 매우 적합한 방안이라 판단 한다. 이 경우 탐색 개념은 다음과 같다.

먼저 고고도 비행을 통해 적 모항에서 출발하는 잠수함을 포착하고 지속적인 추적으로 NLL 침투를 위한 적 잠수함의 최초 잠수지점을 확인한다. 이때부터 적 잠수함의 이동 속도를 고려 예상 침투로를 중심으로 해수면 잠수함 난류항적 탐색을 실시하며 시간의 흐름과 동시에 탐색구역을 전 작전 영역으로 확대한다. SAR를 통해 식별되는 난류항적에는 작전 구역 내 이동하는 각종 선박들의 난류항적 역시 포함될 것이나 수상함의 경우 Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 항적의 시작점에 반드시 매우 밝은 점이 존재한다. 따라서 밝은 점이 없는 난류항적은 반드시 수중 추진체 즉 잠수함에 의한 난류신호라 확신 할 수 있으며 식별된 난류항적 양 끝단의 폭을 비교함으로써 잠수함의 이동 방향 확인이 가능하다(Fig. 1 참조). 잠수함의 예상 위치 및 심도를 파악하기 위해선 여러 가지 요인들이 복합적으로 고려되어야 하나 깊은 수심에서 발생한 난류항적일 수록 해수면에 전파되는데 많은 시간을 요함에 따라 해수면에서 식별되는 난류항적의 에너지는 상대적으로 낮을 수 밖에 없으며 이는 결과적으로 식별된 난류항적 신호가 매우 약함을 의미한다. 따라서 잠수함 난류항적 시작점 부분의 해수면 변형정도(난류항적 에너지)를 측정하거나 수많은 SAR 실측 결과를 데이터베이스화 하면 어느 깊이에서 발생한 난류항적인지를 유추할 수 있으며 유추된 깊이에서 수면까지 난류항적이 확산되는데 필요한 시간은 식 (1), (2)를 통해 유추할 수 있으므로 적 잠수함의 예상위치 파악이 가능하다.



Fig. 5. Conceptual diagram of Submarine wake detection on the surface in the West Sea

SAR를 이용한 잠수함 난류항적 영상은 서해와 동해에서 각각 그 특징이 다를 것으로 판단된다. 수심이 낮은 서해의 경우 적 잠수함은 함 안전을 고려 약 30m ~ 40m 수심대를 운항할 것이며 이 경우 적 잠수함의 난류항적은 해수면에 거의 지속적으로 나타나게 될 것으로 예상된다.

반면 수심이 깊은 동해에서 심심으로 잠항하는 적 잠수함의 경우 난류항적이 해수면으로 전파될 가능성은 매우 희박하다고 할 수 있다. 하지만 북한의 잠수함이 구형 재래식 잠수함이며 AIP(Air Independent Propulsion) 시스템이 없는 점을 고려할 때 최소 1일 1회 1시간 이상의 스노클링은 필수적이며, 스노클링 깊이가 통상 10m 내 ·외인 점을 고려 시 스노클링으로 인해 발생하는 난류항적이 잠수함 이동 경로를 따라 점선 형태로 생성될 것이다. 이와 더불어, 스노클링 시 배기가스를 배출할 수 있도록 스노클 마스터가 수면위로 노출되어야 함에 따라 필연적으로 발생하는 항적 또한 같이 관찰될 것이므로 상대적으로 보다 강한 에너지의 난류항적이 상당히 긴 시간동안 지속될 것으로 예측할 수 있다.

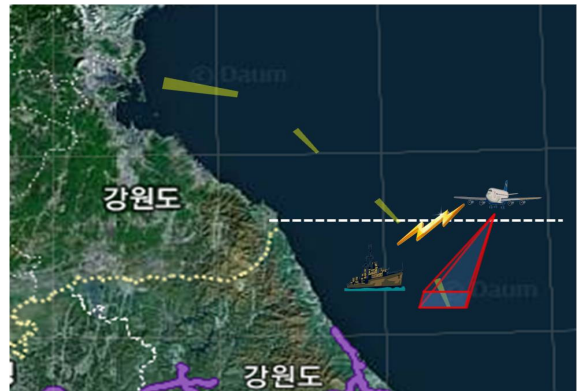


Fig. 6. Conceptual diagram of Submarine wake detection on the surface in the East Sea

이상에서 살펴본 것과 같이 유/무인 항공기에 의한 SAR기반 해수면 광역 실시간 감시는 대잠작전에 있어서 조기경보체계로서 활용 가능하며 식별된 잠수함 난류항적으로부터 잠수함의 예상위치를 분석 후 실시간 정보교환을 통해 주변 가용세력의 음향장비를 동원, 의심구역에 대한 신속 정밀 탐색을 통해 적 잠수함의 존재 유/무 확인하고, 확인된 적 잠수함에 대해 우군 세력의 무장을 동원 집중된 대잠작전을 실시할

경우 대잠작전의 신뢰도는 매우 향상될 것으로 기대된다.

나. LIDAR를 이용한 수면하(Sub-Surface) 감시

LIDAR(Light Detection And Ranging)는 450 ~ 550nm의 파장을 갖는 녹-청 레이저의 반사 신호를 이용하여 표적을 탐색하는 장비를 의미한다. 레이저는 구름, 안개, 대기중의 미세입자, 해양난류 등에 의해 매우 강한 산란 및 흡수^[13]가 이루어지기 때문에 SAR와 같은 광대역 감시체계로 사용하기에는 다소 제한된다. 하지만 레이저는 물을 투과할 수 있기에 수면하 잠수함 및 난류향적 탐색을 위한 유용한 수단이라 할 수 있다. LIDAR를 이용한 수중 잠수함의 탐지는 1967년 플로리다 근해에서 기뢰 탐색 실험에 참여한 미국 잠수함(USS Thread Fin)을 530.8nm의 파장을 갖는 레이저를 이용 식별에 성공한 것이 그 최초라 할 수 있으며^[17]. 1988년 스웨덴 역시 수중의 잠수함을 탐색하는데 LIDAR 기술을 이용하였음^[18]을 밝히고 있다. 이와 별도로 미국은 510nm 파장의 청-녹 레이저를 이용하여 최대 수심 200m까지 기뢰를 탐지^[19]할 수 있음을 보였고, 호주는 LADS(Laser Airborne Depth Sounder)를 이용 수심 50m까지, 1.5m의 분해능으로 해저 지형도를 작성^[20]하였다. 이상에서 열거한 각국의 LIDAR 관련 실험은 SAR의 제한점인 수면하(Sub-Surface) 대잠 감시 및 탐색의 대안으로 LIDAR가 매우 적합함을 보여주고 있다. 레이저의 높은 산란 및 흡수를 고려하여 저고도로 비행하는 항공 세력에 장착하여 사용 시 수심 약 50m까지의 잠수함 및 잠수함의 난류향적 탐색에 사용할 수 있으며 이 경우 운용 개념은 SAR와 매우 유사할 것으로 판단된다.

다. 추진 Glider를 이용한 수중에서의 난류향적 탐색
해수면에서 식별 가능한 잠수함 난류향적은 잠수함의 잠항 깊이에 의존하며, Fig. 3에서 알 수 있는 것처럼 심심도로 주행하는 잠수함 난류향적의 해수면 식별은 매우 제한된다. 하지만 수중에 존재하는 잠수함 난류향적은 해수면에 비하여 바람의 영향을 매우 적게 받음과 동시에 생성 초기에 가깝기 때문에 해수면보다 상대적으로 높은 에너지 상태로 오랜 시간동안 지속하게 된다. 따라서 잠수함 난류향적을 작전에 적용하기 위해선 수중에서 직접적인 방법을 통해 잠수함 난류향적을 식별할 수 있는 방안 역시 고려되어야 한다.

수중에서의 잠수함 난류향적 탐지는 난류에 의한 유

속 변화로 발생하는 압력, 전기 전도도, 등의 변화를 감지할 수 있는 각종 센서를 이용하고 이들의 신호를 적절히 융합함으로써 직접적으로 측정할 수 있다. 이와 같은 탐지 장비들은 이미 여러 회사에서 개발 상용화 되어 있으며 그 중 Rockland Scientific에서 개발한 Micro Rider(난류측정 장비 복합체)를 Glider(Teledyne Webb 사의 Slocum glider)에 장착하여 해상에서 시험하고 있는 모습을 Fig. 7에 나타내었다. 최근에는 1 ~ 2MHz의 고주파 ADCP(Acoustic Doppler Current Profilers)를 활용하여 난류를 관측하는 기기도 Nortek사에서 개발하고 있으며 Glider에 장착 시험 운영 중에 있다.



Fig. 7. Micro Rider on Slocum glider^[20]

Glider는 추진기 추진에 의해 이동하는 일반적 UUV(Unmanned Underwater Vehicle)와 달리 동체 내부에 장착된 부력조절기와 외부 날개를 이용 하여 수직 및 수평이동을 실시하는 UUV를 의미한다. 이동 시 부력에 의존하기 때문에 전력 소모가 매우 적어 해양에서 오랜 시간 동안 관측이 가능하다는 장점을 갖고 있지만 반대로 기동성은 제한된다는 단점을 가지고 있다. 따라서 대잠 작전에 이용하기 위해서는 Glider의 장점을 살리며 필요시 원하는 위치로 긴급 이동 가능토록 Glider에 스크류와 같은 추진체를 장착하는 방안을 고려하여야 하며 그 기본 형상과 주요 탐색 장비는 Fig. 8과, Table 1에 나타내었다.

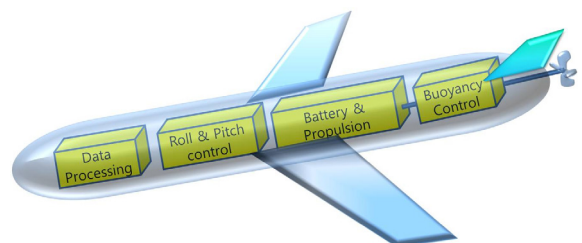


Fig. 8. Schematic diagram of a propeller equipped glider

Table 1. Main Components of a propeller equipped glider

구분	목적 및 기능
수동 소나	음향 탐지
난류 측정 System	난류로 인한 유속, 수압, 온도 변화 등을 측정 및 분석
CTD	난류측정 System에서 난류 분석에 필요한 기준 자료 제공
ADCP	유속 및 Glider의 속도 측정
GPS	Glider의 위치 정보
무선 통신 System	수면 부상 시 자료 송/수신

추진 Glider를 이용한 난류향적 탐지 및 식별은 먼저 고주파 ADCP와 고분해능 CTD(Conductivity, Temperature, and Depth)를 이용하여 전단류 변동과 전도도 혹은 수온의 미세변동을 측정함으로써 특정 수심의 1 ~ 2m 범위에서의 평균 난류 에너지를 산출한다. 난류 에너지 계산 시 해당 수심에서의 유속 및 추진 Glider의 이동 속도, 전도도, 수온, 압력 등의 평균값을 추가적으로 이용하여 보정하는데 활용한다. 만약 Glider의 이동 경로 상에 잠수함 난류향적이 존재한다면 추진 Glider가 잠수함 난류향적 영역을 지나는 동안 상당히 높으면서도 비교적 일정한 크기의 난류에너지를 탐색하게 될 것이며, 추진 Glider의 이동 속도 및 상승/하강 각도로부터 잠수함 난류향적의 폭을 알게 되어 잠수함의 예상 위치를 계산할 수 있다. 잠수함 난류향적을 식별한 추진 Glider는 부력조절기와 추진기를 이용 최단시간에 수면으로 부상, 무선 통신 시스템을 통해 잠수함 접촉신호 및 예상 위치를 송신한다. 추진 Glider를 이용한 잠수함 난류향적 탐색 및 식별 개념은 Fig. 9에서 나타내었다.

추진 Glider는 잠수함 난류향적을 직접적인 방법을 통해 탐지하기 때문에 대잠작전에 적용하기 위해서는 3 ~ 5개의 추진 Glider로 구성된 다수의 편대를 운용해야 할 것으로 판단된다. 이는 추진 Glider의 탐색 확률을 높이기 위함으로 적 잠수함의 작전수심을 고려 상·하부 제한수심을 설정 후 추진 Glider의 이동경로와 시간을 조절함으로써 제한 수심 범위 내에 추진 Glider가 고르게 분포하도록 하여야 한다. 운용 구역은

어장 및 상선의 통항이 상대적으로 적은 NLL 근방의 침투 예상 지점을 중심으로 하고 적 잠수함이 NLL 침투 시 주로 북에서 남쪽으로 침투를 할 것으로 예상되는바 동/서 방향으로의 횡 방향 탐색을 실시하여야 할 것으로 판단되며 그 개념은 아래 Fig. 10에서 나타내었다.

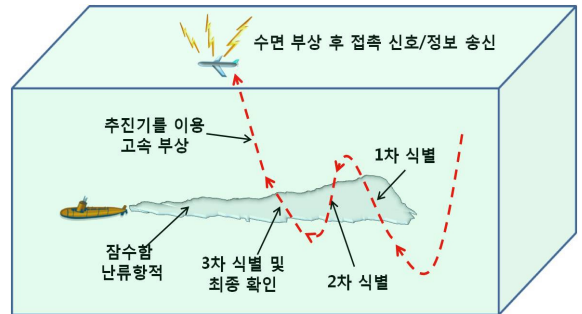


Fig. 9. Conceptual diagram of submarine turbulent wake detection using propeller equipped glider

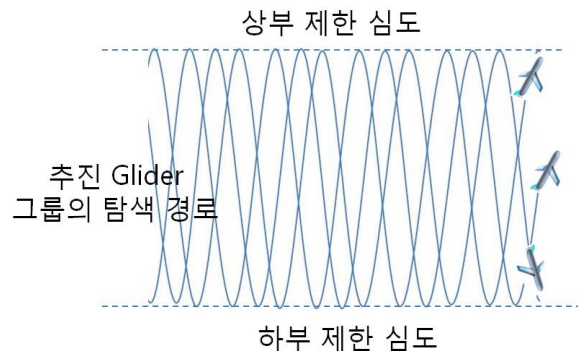


Fig. 10. Conceptual diagram of propeller equipped gliders search pattern

횡 방향으로 탐색을 실시하던 추진 Glider가 잠수함 난류향적을 접촉하게 되면 난류향적으로 진입 지점과 이탈지점에 대한 깊이 및 위치 정보를 바탕으로 횡 방향에서 종 방향으로 탐색 패턴을 변경 후 난류향적 영역으로 재 진입하여 Fig. 9와 같은 탐색을 실시, 잠수함 난류향적 존재를 재확인 후 부상하여 관련 정보를 송신함으로써 수중 대잠 감시체계로 운용가능하다. 이와 더불어 기술적인 문제가 있겠지만 수중청음기 (hydrophone)을 추진 Glider 편대에 장착함으로써 잠수함 탐색 영역을 좁힌다면, 수중청음기 혹은 레이저를 수중 근거리 통신에 활용함으로써 추진 Glider간

위치정보 및 관측 자료 공유를 통해 탐색의 효율성과 집중성을 높일 수 있다. 비록 Glider는 아니지만 구 소련에서 잠수함에 난류항적 탐색 장비를 장착하여 수중에서 잠수함 난류항적을 탐지한 실험에서 약 70 ~ 80%의 탐지 확률^[21]을 얻은 점은 추진 Glider를 이용한 난류항적 탐색이 수중에서 매우 효율적이며 신뢰성이 높은 방법임을 시사한다.

5. 결론

쇄파가 없는 잔잔한 해수면의 경우 약 25m의 수심에서 감항하는 잠수함의 난류항적은 해수면에 약 12 km에 달하는 난류항적을 남길 수 있다. 이와 같이 잠수함의 난류항적은 수중에 존재함은 물론 수면까지 확산됨으로 이를 이용한 비음향 대잠 탐색 및 감시체계에 적용 가능하다.

해수면에서의 잠수함 난류항적은 항공기에 탑재한 SAR를 이용 광역 실시간 조기경보체제로 운용가능하며 이 경우 서해에서는 얇은 수심으로 인해 지속적인 난류항적이, 동해에서는 스노클링에 의한 점선 형태의 난류항적이 식별될 것으로 예상된다. 수면에 까지 도달하지는 못하지만 수면하 근거리까지 도달하는 난류항적은 LIDAR를 이용하여 탐색 및 식별가능하며 수중에서는 추진 Glider의 편대를 이용 직접적인 방법을 통해 난류항적의 존재 유무를 판단 가능하다.

이와 같은 3차원 대잠 감시체계를 완성하기 위해서는 SAR의 경우 고 분해능의 해상 감시용 체계를 개발하여야 하며, LIDAR는 공기 중과 수중에서 흡수 및 산란되는 정도에 대한 기술적인 연구가 선행됨과 동시에 반사 신호를 거의 실시간으로 분석할 수 있는 자료처리 및 영상처리 기술개발이 선행되어야 한다. 또한 추진 Glider는 부력에 의한 이동시 이동 속도를 증가시켜야 하며 탐색확률을 높이기 위한 편대 운용의 최적화 방안, 추진 Glider끼리 상호 정보 공유를 목적으로 레이저 등을 이용한 수중 통신기술의 개발 등 다양한 문제 해결이 선행되어야 하나 미국을 비롯한 서방세계에서는 이미 1980년대 후반부터 관련 기술을 연구해온 점을 고려할 때 국내에서도 난류항적의 물리적 특성에 관한 연구와 난류항적을 이용한 대잠 탐색 및 감시체계 개발을 적극 추진할 필요가 있다.

후 기

본 논문은 해군사관학교 소속 해양연구소의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

References

- [1] Stewart, "Methods of Satellite Oceanography", Univ. of California Press, Berkely, 1985.
- [2] Lyden, Hammond, Lyzenga, Shuchman, "Synthetic Aperture Radar Imaging of Surface Ship Wakes", J. Geophysical Research, Vol. 93, No. C10, pp. 12293 ~ 12303, 1988.
- [3] Milgram, Peltzer, Griffin, "Suppression of Short Sea waves in Ship Wake Measurements and Observations", J. Geophysical Research, Vol. 98, No. C4, pp. 7103 ~ 7114, 1993.
- [4] Milgram, Skop, Peltzer, Griffin, "Modeling Short Wave Energy Distributions in the Far Wakes of Ships", J. Geophysical Research, Vol. 98, No. C4, pp. 7115 ~ 7124, 1993.
- [5] <http://psc.apl.washington.edu/Harry/Pierre/SHOWEX/index.html>
- [6] E. Levine, R. G. Lueck, "Turbulence Measurement from an Autonomous Underwater Vehicle", J. Atmos. Oceanic Technol., Vol. 16, pp. 1533 ~ 1544, 1999.
- [7] <http://www.ifm.zmw.de/fileadmin/files/ers-sar/Sdata/oceanic/shipwakes/intro/shipwakes.jpg>
- [8] 오원천, 조치영, 김영규, 김인익, 서희선, 김성일, "네트워크 중심 수중대잠전체계에 관한 조사 연구", 국방과학연구소, ADDR-115-080125, 2008.
- [9] A. Y. Benilov, "Ship-Wake Turbulence", Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow, Vol. 10, pp. 253 ~ 264, 1997.
- [10] 이용철, "Ship-Wake 이론을 이용한 잠수함 항적 탐색 가능성", 한국해양정보통신학회지 제15권 제4호, 2011.
- [11] K. A. Hoffman, "Computational Fluid Dynamics for Engineers", A Publication of Engineering Education System, Austin Texas, 1989.
- [12] H. Tennekes, J. L. Lumley, "A First Course in

- Turbulence”, 13th, MIT Press, 1990.
- [13] Report of the SCOR Working Group, “Opportunities and Problems in Satellite Measurements of the Sea”, Unesco Technical Papers in Marine Science - 46, 1986.
- [14] Beardsley, T., “Making Waves”, Scientific American, February, p. 13, 1993.
- [15] Gasparovic, R. F., Etkin, V. S., “An Overview of the Joint US/Russia Internal Wave Remote Sensing Experiment”, IGARSS '94, pp. 741~742.
- [16] Daniel Gerald Daly, “A limited Analysis of Some Non-Acoustic Anti-Submarine Warfare Systems”, 석사학위 논문, Naval Postgraduate School, p. 30, 1994.
- [17] Stefanik, T., “The Nonacoustic Detection of Submarines”, Scientific American, March, 1988.
- [18] G. G. Wren, D. May, “Detection of Submerged Vessels Using Remote Sensing Techniques”, Austrian Defence Force Journal, No. 127, 1997.
- [19] John R. Potter, “Challenges of Seeing Underwater- A Vision for Tomorrow”, Naval Platform Technologies Seminar, Singapore, 1999.
- [20] <http://www.rocklandscientific.com/Products/TurbulenceInstrumentation/MicroRider/tabid/133/Default.aspx>(검색일자 : '11.10.12)
- [21] A. Yu. Benilov, “Soviet Research of Ocean Turbulence and Submarine Detection”, Delphic Associates Inc, p. 110, 1991.