

지구물리 탐사기법을 이용한 심해 Dmitri Donskoi호 확인

유해수¹⁾, 김수정¹⁾, 박동원²⁾

¹⁾한국해양연구원 해저환경·자원연구본부

²⁾한국해양연구원 남해연구소

Locates the Sunken Ship "Dmitri Donskoi" using Marine Geophysical Survey Techniques in Deep Water

Hai Soo Yoo¹⁾, Su Jeong Kim¹⁾, Dong won Park²⁾

¹⁾*Marine Geoenvironment & Resources Research Division Korea Ocean Research & Development Institute*

²⁾*South Sea Institute Korea Ocean Research & Development Institute*

요 약 : 해양지구물리탐사 기술을 이용하여 100년 전 러·일 전쟁 당시 울릉도 저동 앞바다에 침몰한 6200톤급 Dmitri Donskoi호를 확인하고 인양가능성 평가를 위한 기술검토를 실시하였다.

심해 침몰선 확인을 위해 주로 해양지질, 지구물리, 해양물리학적 방법을 이용하여 해저지형과 영상 그리고 퇴적상태와 해류 등에 대한 정보를 얻었다. 해저영상 및 지형정보를 얻기 위하여 Multi-beam과 Side scan sonar, Chirp 등을 이용하였으며 철 구조물의 확인은 자력탐사를 사용하였다. 지구물리탐사를 통해 확인된 이상체에 대하여 심해용 카메라와 ROV (Remotely Operated Vehicle) 및 유인 잠수정 등으로 침몰선의 비디오 영상을 얻은 후, 이를 러·일 전사자료 및 실물 모형과 비교하였다. 한편 침몰선체 인양가능성을 검토하기 위하여 선체 부식강도 측정을 실시하였다.

굴곡이 큰 심해 계곡에서의 지구물리 탐사방법에서는 음파의 난반사로 인해 해저 영상 구별이 어려웠으며, 중천해용 다중빔에 의한 탐사에서만 빔 각도를 조절하여 해저영상 확인이 가능하였다. 조사지역이 철성분이 많이 함유된 대규모 화산암 지대이므로 일반 자력탐사로는 침몰선의 식별이 어려웠으며 정밀도가 높은 Gradiometer를 사용할 경우에만 이상대 확인이 가능하였다. 그러나, 이 경우에도 센서를 해저면 가까이 접근시켜 조사를 해야 한다. 해양지질, 지구물리, 해양물리 자료를 종합적으로 분석한 결과 침몰선을 발견할 수 있었으며, 발견된 침몰선은 함포가 설치되어 있는 것으로 보아 군함으로 판명되었다. 또한 전사기록 및 실물 모형과 비교해 볼 때 Dmitri Donskoi호로 추정된다. 100년 된 침몰선체의 부식정도를 전기화학적 방법으로 예측해본 결과 침몰선체의 강도는 초기강도에 비해 약 2/5정도 감소하였음을 알 수 있었다.

주요어 : Dmitri Donskoi, 지구물리탐사, 부식강도 측정, 다중빔

Abstract : Dmitri Donskoi, which went down during the Russo-Japanese War occurred 100 years ago, was found by using geophysical exploration techniques at the 400 m water depth of submarine valley off Jeodong of Ulleung Island.

In the submarine area with the rugged seabed topography and volcanic seamounts, in particular, the reliable seabed images were acquired by using the mid-to-shallow Multibeam exploration technique.

The strength of corrosion (causticity) of the sunken Donskoi, measured by the electrochemical method, decreased to 2/5 compared with the original strength.

Key words : Dmitri Donskoi, Multibeam, Geophysical Exploration, causticity

1. 서론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 연안해역에는 수많은 수중문화유산이 존재하며 그 중요성을 고려할 때 국가적 차원에서 발굴하여 보존할 필요가 있다. 현재 우리나라의 수중유물조사는 어민들의 어업활동 중 그물에 걸려 올라오는 골동품을 인양하는 경우나 수심이 50 m 미만의 낮은 곳에 침몰한 선체를 다이버가 들어가 확인하는 방법이 대부분이며, 심해에 놓여있는 침몰선이나 유물을 탐사하는 기술에 관해서는 거의 전무한 상태이다.

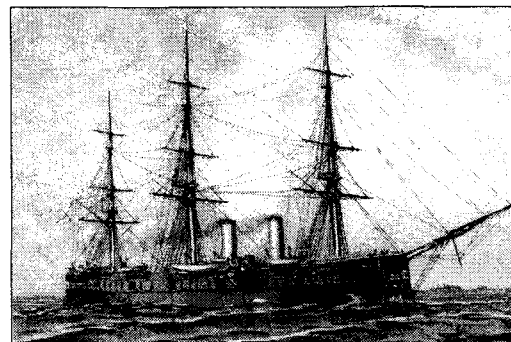


Fig. 1. Russian warship of Dmitri Donskoi (6200 ton).

최근 들어 외국 선진국들은 심해용 지구물리 탐사 장비나, 수중작업용 로봇을 이용하여 침몰선박 탐사 등을 수행하고 있다. 심해 침몰선 확인은 1985년 지구물리학자인 로버트 벨러드가 타이타닉호를 발견한 후부터 본격적으로 시작하였다(Ballard, 1998). 최근에는 2000년 8월 바렌츠해 수심 108 m에 화재사고로 침몰한 러시아 핵추진 잠수함 Kursk호를 2001년 10월 SMIT salvage사에서 인양에 성공한 바도 있다(Bakker and Walder, 2003).

역시 심해에 침몰한 Dmitri Donskoi호(Fig. 1)와 같이 침몰선의 확인은 주로 자원탐사에 이용되는 지구물리학적 방법을 중심으로 이루어진다. 그 중에서도 음향을 해저면에 주사하여 되돌아오는 신호를 이용하여 정밀한 해저면 영상도를 제공하는 Multibeam echosounder와 Side scan sonar는 해저면 탐사나 침몰선의 조사에 있어서 가장 핵심이 되는 방법이라 할 수 있다. 그러나 이러한 해저영상장비에 의해 얻어진 해저면 자료에서 나타나는 이상체들은 침몰선과 같은 인공물에 의한 것일 수도 있지만 해저지질구조에 의한 것일 수도 있다. 자력탐사는 이러한 이상체들이 해저지질구조에 의한 것인지 인공물에 의한 것인지를 확인하는데 사용되며 일반적으로 천부에 존재하는 화산암이나 기반암에 관한 자세한 정보를 제공한다. 그러나, 자력탐사 자료는 자성암체의 대자율의 횡적인 변화가 심하고, 잔류자기의 크기나 자화방향에 따라 강도의 변화가 심하여 자료 해석 시 세심한 주의를 요한다. 1970년대 이후 자력이상의 수평, 수직 미분에 근거한 암체의 경계 및 심도를 효과적으로 결정하기 위한 여러 기법들이 개발되면서 이러한 해석상의 제약들이 많이 해소되었다 (Roest *et al.*, 1992; Nabighian, 1972, 1974). 울릉도 지역은 화산암체로 이루어진 섬이어서 강자성을 띤 암체들이 많이 분포하여 큰 주기의 신호 보다는 짧은 주기의 이상치에서 나타나므로 Fourier

변환을 통하여 장주기 성분을 제거하고 단주기 성분을 이용하는 필터링기법을 사용하였다. 이러한 자력 이상치와 지구물리 분석자료를 비교하여 침몰선체에 대하여 최종적으로 심해용 카메라 또는 ROV나 유인잠수정 등으로 확인작업을 하게 된다.

다음으로 정밀 지구물리 탐사와 병행하여 해양물리조사가 수행되어야 한다. 이는 해류에 의해 침몰선의 위치가 역사적 문헌에 나와 있는 위치에서 벗어날 수 있기 때문인데 타이타닉호의 경우 침몰위치에서 약 3 km 벗어나서 발견된 바 있다. 침몰선을 탐사하기 위해서는 탐사해역의 정밀 해저지형과 해저면 구성물질의 특성분석이 필수적인 사항이며 이는 정교한 탐사변수의 설정 후 현장탐사 실행 및 자료처리 기술이 필요하다. 또한 퇴적물의 이동이나 해저사태가 일어날 수 있는 주변 환경의 조사 등이 원활한 인양작업을 위한 기초자료가 되므로 정밀지형조사와 함께 지질조사를 병행한다. 일단 선체의 위치가 파악되면 선체 인양 계획을 수립하기 위하여 선체의 보존성 및 선체의 내부와 외부 및 주변의 퇴적물 분석이 필요하다.

본 논문에서는 지구물리탐사 기술을 이용하여 100년 전 러·일 전쟁 당시 울릉도 저동 앞 바다에 침몰한 Dmitri Donskoi호를 확인하고 인양가능성 평가를 위한 기술검토를 실시하였다. 심해 침몰선 확인을 위해서 해양지질, 지구물리, 해양물리학적 방법을 이용하여 해저지형과 영상 그리고 퇴적상태와 해류 등에 대한 정보를 얻었다. 해저영상 및 지형정보는 여러 종류의 Multibeam과 Side scan sonar 그리고 Chirp을 이용하였으며 철 구조물의 확인은 자력탐사를 이용하였다. 확인된 이상체에 대하여 최종적으로 심해용 카메라와 ROV 및 유인잠수정 등으로 확인작업을 하였으며 기록된 침몰선 영상자료와 러·일 전사기록 및 실물 모형 등과 비교분석하였다(유해수 외, 2000). 한편 침몰선체 인양가능성을 검토하기 위하여 전기 화학적인 방법을 이용하여 선체 부식강도 측정을 실시하였다(김정구, 2000).

2. 조사환경

2-1. 조사해역의 환경

울릉도 조사해역의 지질환경은 Fig. 2와 같이 계단식 형태의 복잡한 지형구조와 요철형태의 수심 분포를 나타내며 대부분 자력성분이 강한 화성암반이 노출된 상태이다. 특히 지표는 표층퇴적물이 적은 특징을 나타내고 있으며 수심 분포에 따른 경사도는 300-800 m에서는 50-60°의 급경사를 보이며 800-1000 m에서는 돌출 해저면들이 나타나는데 최대수심은 2200 m에 이른다.

해양 물리학적 환경으로는 해수온도는 5월 달 평균이 약 13.8 °C이며 4월에서 11월의 바람은 편남풍이 우세하고 조차는 최대 및 최소가 각각 22.7 cm, 19.3 cm이다. 동한난류 북상과 북한 한류가 남하하며 최대유속이 68 cm/s이며 지형류와 남향류가 우세한 상태이다. 계곡을 따라 유인잠수정이 하강하지 못할 정도의 매우 강한 상승 해류가 존재한다.

3. 탐사해역 선정

탐사구역 선정은 위해서는 먼저 연구원내 관련 전문가들의 자문단을 구성하여 조사구역 선정 및 탐사방법 등에 대한 의견 수렴부터 시작하였다. 이어서, 러·일 전사기록과 주민들의 증언을 토대로 좁은 범위의 조사구역을 1차 결정하며 해류의 영향 등을 고려하여 좀더 넓은 범위의 2차 조사구역을 확정하였다. 1999년과 2000년에 걸쳐 1단계 사업으로 울릉도의 현지 인문자료 조사와 함께 정밀탐사지역의 위치선정을 위한 광역탐사를 수행하였다. 또한 본격적으로 정밀탐사를 위해서 2001년에는 2단계 사업으로 3차에 걸친 정밀 해양지구물리

및 해양물리학적 탐사를 수행하였다. 발굴 인양에 대비하여 국내법과 UNESCO 국제협약에 관한 조사를 수행하여 향후 발생될 문제점에 대한 대응방안이나 보상관계에 대한 조사를 병행하였다.

다음으로 인양계획수립을 위해서는 먼저 선체의 정밀한 침몰상태 확인이 필요하며 이를 위해서는 침몰선체 주변의 정밀해저지형 및 선체주변 퇴적상태 조사가 선행되어야 한다. 선체탐사에는 선체정밀촬영, 선체주변의 퇴적환경 정밀복원, 퇴적환경의 안정성 파악, 심해지구물리탐사 등을 수행해야 한다. 인양계획 수립을 위해서는 선체상태에 따른 선박안정성 연구를 비롯해서 선체주변 해류변화 정밀조사 등이 필요하다.

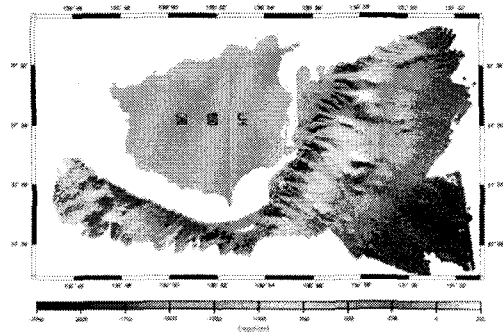


Fig. 2. Location map and Seabeam image around the Jeodong of the Ulleung island.

4. 탐사방법

1 단계 광역탐사는 주민증언 및 전사기록 조사, 지질 및 지구물리 기초조사, 해양물리 및 기상조사, 국내 및 국제법 조사, SeaBeam 2000에 의한 3D 해저지형조사, 해전 상황조사 등이 수행되었다.

2 단계 정밀탐사는 당초 계획과 달리 1년 연장하여 2003년까지 수행하였다. 해저면 조사를 위해서 Side Scan Sonar, Deep Tow 등이 투입되었다. 영상조사에는 700 m Deep Sea Camera, 1200 m 무인잠수정(ROV), 600 m 유인잠수정(pathfinder) 등이 투입되었다. 또한 자력탐사를 위해서는 SeaSpy 고정밀 탐사장비가 투입되었

다. 종합탐사 분석결과에서 침몰선 이상체 분포도를 만들었으며 가장 가능성이 높은 곳을 중심으로 ROV 및 유인잠수정을 이용하여 실체 확인 조사를 수행하였다(Fig. 3).

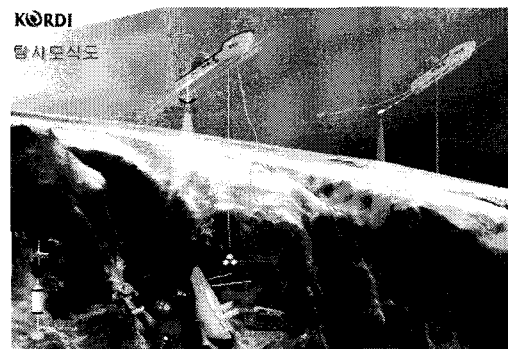


Fig. 3. Geophysical investigation of underwater detection.

4-1). 고증자료 조사

4-1-1. 인문조사

현지주민 탐문조사 및 관련자료 수집을 위하여 울릉도 주민들의 증언을 수집하였으며 향토자료관을 방문하여 자료 분석을 실시하였다. Dmitri Donskoi호가 침몰 후 마스타가 보였다는 주민들의 증언을 고려하면 침몰된 해역의 수심은 약 20 m 미만으로 생각되나 증언이 모두 제각각이므로 침몰선 자체는 인정되나 침몰 위치에 대해서는 신뢰도가 떨어진다. 한편 1982년 일본 유인잠수정까지 도입하여 조사했던 도진실업 탐사자료를 수집하여 자료 분석과 함께 탐사 실패 원인을 확인하였다. 당시 유인잠수정은 저동항 해역 주변을 수심 200 m까지 정밀탐사를 실시한 바 있다.

물리탐사 기술 심포지움

4-1-2. 전사기록 조사

러·일전쟁의 당사국의 전사자료 수집을 위하여 러시아 해양연구소, 해전사 기록보관소, 해군역사박물관, 레닌보관소, 주정부 역사도서관 등을 방문하였다. 영국의 경우 해양박물관, Maritime Books, British Library, Imperial War Museum, Craig Library 등을 방문하였다.

일본 전사자료 수집을 위해서는 일본 방위청 방위연구소, 국회도서관, 선박과학관, 과학기술센터, 대학도서관, 기타 고서점을 방문하였으며 100년 전의 일본 요미우리, 마이니찌 신문 그리고 관련 자료를 조사하였고 나히모프호 관련 자료도 수집하였다. 일본 전사기록에서 Dmitri Donskoi호 침몰위치의 기준점으로 알려진 울릉도의 동망루의 위치를 확인하기 위하여 동일한 위치로 추정되는 현지 군부대 레이다 기지를 방문하였고 일제시대 이후 존속되었다는 개략적인 가능성만을 확인하였다.

침몰시간은 5월 29일 오전 6시 46분으로 러시아 군중 신부 Dobrovoski에 의하면 수심 약 200 m에 자침시킨 것으로 되어있으나 이는 기록이 아닌 증언이므로 신뢰도가 떨어진다. 일본측 전사기록에서 확인한 침몰위치는 현 지명에 없는 동망루 정동 1.5마일(2.7 km)로 동망루를 현재의 방향봉으로 볼 때 그곳에서의 1.5 해리의 수심은 약 500 m 정도이다. 또 다른 기록에 의하면 남동각 5 cable length (925 m)로 저동의 등대 위치에서부터 측정된 곳의 수심은 약 300-400 m였다. 일본측 전사기록은 침몰 현장을 지켜보았다는 점에서 신뢰성이 매우 높을 것으로 추정된다. 반면에 일본 전사기록의 가장 큰 단점은 동망루의 위치가 현재의 문헌이나 지명 상에서 확인할 수 없다는 점이다.

4-1-3. 해전 상황조사

한편 Dmitri Donskoi호를 자침 시킨 러시아 함정의 부장 Blokhin의 심리상태 및 당시 해황을 예측하고 분석하였다. 당시 수병 상륙 후 Dmitri Donskoi호를 심해에 자침시키기 위해 저동항에서 외해쪽으로 출항한 방향은 위 방향, 정 방향, 아래 방향이 될 수 있으나, 그 중에서 정방향으로 진행했을 것으로 가정하였다. 역시 근접 해역과 먼 해역 중 가까운 해역을 택했을 것으로 추정하였는데 이는 외해 쪽에 일본 연합함대가 지키고 있었으므로 Dmitri Donskoi호를 자침시킨 후 자신의 생존을 위하여 다시 육지로 상륙하기 위해서는 최단거리를 택했을 것으로 판단되었기 때문이다.

4-2). 해양물리조사

4-2-1. 해류조사(ADCP)

온누리호 및 이어도호에 장착된 해류측정 기구인 ADCP를 이용하여 수심 17-329 m까지 조사선 속도를 약 5노트로 유지하면서 해류속도를 측정하였다. 동시에 수중 계류용 해류계인 RCM-9 여러 대를 수층별로 계류하여 수개월동안의 해류속도와 방향 및 크기 등을 측정하였다.

Fig. 4의 저동항 남동쪽 2마일 부근인 정점 P에서 약 43일 동안 4개층 (530 m, 730 m, 950 m, 1150 m)에서 관측된 해류자료를 이용하였으며, 보완자료로서 2002년 한국해양연구원에서 울릉도와 독도사이 해역에 장기 계류한 해류계 (EU 와 EC1)로부터 13개월 동안 (2001년 4월 23일~2002년 5월 22일) 수집한 자료를 발췌하여 재분석하였다. 이 채널의 중앙 골에 해당하는 정점 EC1에서는 세 층 (각각 300 m, 1400 m, 2400 m)에서 관측하였으며, 울릉도 쪽에 더 가까운 정점 EU에서는 약 1000 m층에서만 관측이 실시되었다.

저동항 부근의 주된 흐름방향을 보면, Fig. 5에서 보는 바와 같이 정점 P의 530 m층과

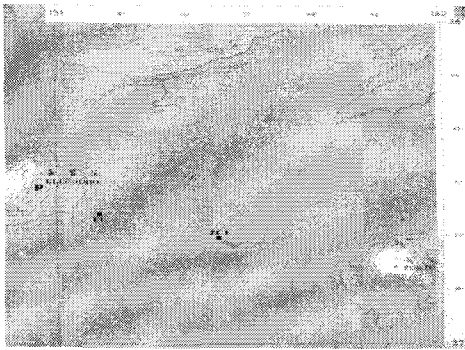


Fig. 4. Location map of a mooring Current-meter(RCM-9) between Ulleung and Dokdo island.

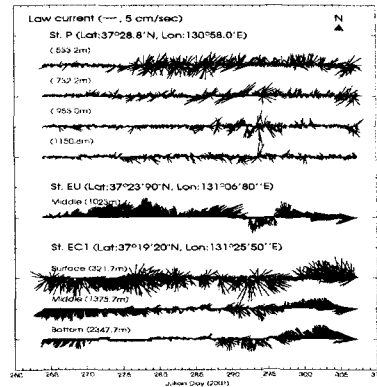


Fig. 5. Current distribution around the Jeodong of the Ulleung island.

730 m층은 그 아래의 2개층 (950 m층과 1150 m층)과 매우 다른 흐름을 보였다. 조류성분을 뺀 유속은 4 cm/s 이내로 작지만, 위 2개층 (북향류)과 아래 2개층 (남향류)이 서로 반대 방향으로 흐르는 흐름에 의해 수직적으로 쉬어 (sheer)를 형성하고 있다.

같은 기간 동안, 정점 EC1 (울릉도와 독도 사이의 중앙골)과 정점 EU (정점 P와 정점 EC1 사이)에서는 저동향 부근 (정점 P)에서보다 매우 역동적인 흐름이 관측되었다. 정점 EU (~1000 m층)에서는 북향류가 지배적이었으며, 유속은 최대 8 cm/s를 초과하였다. 정점 EC1에서는 반대로 남향류가 지배적으로 나타나다가 마지막 열흘 정도만 북향류가 나타났으며, 여기서도 유속이 센 경우에는 5 cm/s를 초과하였다 (Fig. 5).

조사해역인 울릉도 동측해역은 조석이 30 cm 내외로 해류 속도는 조류에 크게 영향을 받으며 해류방향 역시 시간에 따라 변한다. 평균 해류의 속도는 28 cm/s이며 최대 속도는 약 68 cm/s이다. 800 m 심해의 경우 해류속도는 1-2 cm로 매우 느리다.

1912년 타이타닉 호가 침몰되기 전 해류의 영향을 생각하지 못하여 주변 항해 선박들에게 침몰예측지점을 잘못 알려줌으로써 많은 인명을 구할 수 있는 기회를 놓쳤으며, 후에 침몰지점에서 3 km 떨어진 위치에서 발견된 예가 있다(Bill M, 1985). 이러한 사실을 바탕으로 일부 해양학자들은 Dmitri Donskoi호도 울릉도의 급한 해류와 급경사 지형으로 수 km 떠내려갔음을 주장하고 있다. 그러나 이러한 일부 해양학자들의 주장은 어느 정도 근거가 있으나 당시 100년 전 침몰시점의 정확한 해황이나 기상자료가 뒷받침되지 못한 상태에서의 주장이므로 이 역시 신뢰도가 떨어진다고 볼 수 있다. 이것은 5월 현지 해역 조사 중 침몰시간인 오전 6시경의 해류는 거의 유동이 없어 침몰할 경우 그 자리에 있을 가능성이 크다고 판단하였다. 이러한 각종 전사기록과 증언 및 학자들의 주장 등을 종합해 볼 때 침몰위치는 저동향에서 약 3 km, 수심은 약 500 m 이내로 추정된다.

4-3). 해양지질조사

4-3-1. 퇴적물조사

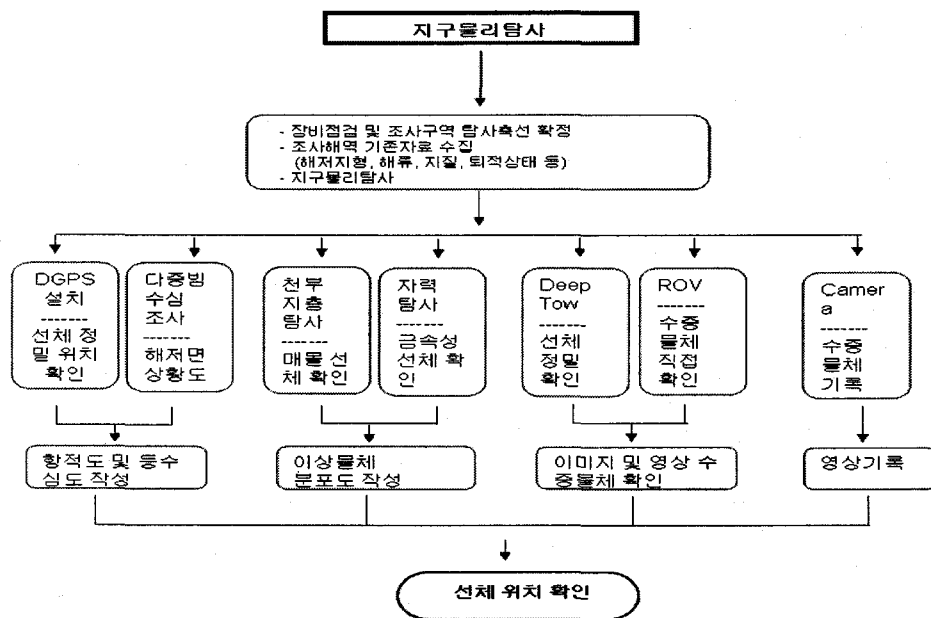
침몰선 조사는 먼저 탐사해역의 해저지형과 해저면 구성물질의 특성분석이 필요하다. 퇴적물의 이동이나 해저사태가 일어날 수 있는 주변 환경의 조사 등이 원활한 인양작업을 위

한 기초 자료가 되므로 정밀지형조사와 함께 지질조사를 병행하였다. 해양의 퇴적물을 채취하기 위해서는 목적에 따라 여러 가지의 방법이 동원되는데, 0~10 cm 깊이까지의 시료를 채취하기 위해서 그랩 채니기(grab sampler)를 사용한다.

해저면으로부터 16 m 깊이까지의 시료를 채취하는 방법으로는 시추기(corer)를 사용하고 주로 중력을 이용하여 퇴적물속에 깊이 박은 후 뽑아 올리는 방식을 사용한다. 이는 표층에서부터 깊이에 따른 환경의 변화 등을 연구하고자 할 때 주로 사용된다. 이러한 퇴적물 채취는 퇴적물 오염과 퇴적물 입도를 확인함으로써 침물선 인양가능성을 확인하는데 중요한 역할을 한다.

4-4). 해양지구물리조사

Table 1. flowchart of geophysical exploration survey.



4-4-1. 지층탐사

선체확인 및 인양을 위해 가장 핵심이 되는 지구물리조사로는 선체탐사를 위해서 지층탐사, 자력탐사, 멀티빔 해저면 조사, 무인잠수정, 유인잠수정, 심해용 카메라 탐사, 침물선 3D 가시화, 선체주변 잔해조사 등을 수행하였다 (Table 1).

그중에서 침물선이 퇴적층에 의해 어느 정도 묻혀있는지를 확인하기 위하여 사용되는 Chirp 시스템은 중심주파수가 3.5 kHz이며 투과 심도가 약 100 m이다. 주로 해양에 퇴적된 저층의 층서 (stratigraphy) 및 구조 (structure)를 구명하고 이를 영상화하기 위한 자료획득 및 처리 시스템으로, 퇴적물 분포 및 저층 지질구조의 다양한 양상을 단면 영상으로 제시하며 퇴적구조와 형태에 따른 각 층의 물성을 추정하는데 이용된다. Fig. 6은 저층의 급경사 해역 조사자료로서 화살표시된 지역에서는 암반위에 약간의 퇴적물이 쌓여 있으며 일부지역에서는 암반이 그대로 노출되어 있다.

4-4-2. 지자기탐사

자력탐사의 기본 원리는 지표에서 자기장을 측정하여 탐사자가 필요한 성분만을 분리하여 해석함으로써 자기장의 원인을 파악한다. 침몰선 탐사와 같은 수면 밑에 강한 자성을 띠고 있는 물체가 존재할 시에는 주변의 자기환경과 구별되는 신호가 감지되므로 자력탐사가 강자성물체의 존재유무 및 위치확인에 좋은 탐사방법으로 활용된다.

화성암 지대와 대부분 철제 등으로 구성된 침몰선과의 구별을 위하여 16톤급 올림픽5호를 이용하여 정밀도 0.01-0.001T인 SeaSPY 해상자력탐사를 수행하였다. 자료는 1초 간격으로 기록하였으며 평균 예인 속도는 5 knot였다. 센서는 해저에 최대한 가까이에 접근시켜서 100~150 m를 유지하였고 케이블길이는 200~250 m를 유지하였다.

측정된 자료들은 Kriging 방법을 이용하여 1" 간격으로 격자화하였다. 자료획득 당시의 일변화 및 거리에 따른 변화를 보정하기 위하여, 일변화 보정, IGRF 보정 및 교차점 오차보정을 실시하여 자기이상을 산출하였다. 보정한 후에 다시 Kriging의 방법을 이용하여 1" 간격으로 격자화하였다. 자기이상 자료의 해석을 위하여 본 연구에서는 고속푸리에변환을 이용한 주파수영역에서의 필터링을 수행하였다. Fig. 7은 자기이상치로부터 단과장 성분만을 분리하여 놓은 필터링이상도를 나타낸다. 필터링이상도는 전자력분포나 자기이상분포에 비해서 저동향 북부해역과 저동 남쪽해상인 행남말에서 연장되는 해저암반의 지역적인 분포 영향을 잘 반영한다.

4-4-3. 해저지형 및 영상조사

수심측량은 수중에서 음속이 약 1,500 m/s이므로 음파의 왕복시간을 측정하고 이를 깊이로 환산함으로써 이루어진다. 수심이 얇은 해역의 조사시에는 200 kHz 대역의 고주파를 사용하였으며, 수심이 깊은 해역은 13 kHz 대역의 저주파를 이용하여 측정하였다.

해저면 영상 탐사기 (CM800, Side scan sonar)는 침몰선박이나 수중에 가라앉은 물체를 찾고자 할 때 사용되며 해저 지형도를 얻어 수중구조물이나 어초군락 등을 건설하기 전에 기초 자료로서 활용된다. 102 kHz와 325 kHz의 가변 주파수를 사용하는데 102 kHz의 저주파수는 대형의 목표물이나 개략탐사에 사용하였으며 325 kHz 고주파수는 고해상의 영상을 얻는데 이용하였다. 현장조사에서 이상체 선정은 타이타닉호가 침몰시 두부분으로 분리되어 침몰한 점을 감안하여 역시 Dmitri Donskoi호도 침몰시 해저 암반과의 충돌로 같은 현상이 일어났을 것을 예상하여 침몰선과 크기가 같거나 침몰선 보다 작은 형태의 이상체를 조사 대상으로 삼았다.

해저면 영상조사는 수심측량을 위한 단일빔 (Singlebeam)과 멀티빔을 이용하는 두가지 방

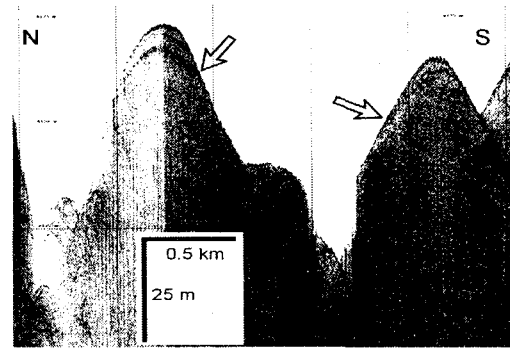


Fig. 6. High resolution 'Chirp' seismic profile data around the Jeodong of the Ulleung island.

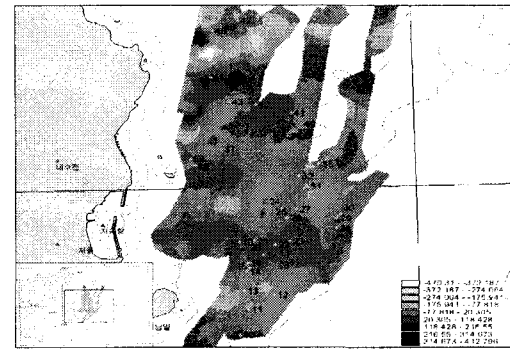


Fig. 7. Filtered magnetic anomaly and locations of suspected magnetic signal around the Jeodong of the Ulleung island.

식이 있는데 실제 영상차이를 보면 울산 앞바다 수심 100 m에 침몰한 경신호를 단일빔으로 탐사한 Fig. 8과 중천해용 멀티빔 EM1002로 탐사한 Fig. 9는 많은 차이를 나타내주고 있다. 멀티빔 자료에서 해저퇴적물 위에 노출된 부분은 검은색으로 나타나며 매몰된 부분은 흰색의 3차원 영상으로 잘 나타나고 있다. 주파수가 95 kHz인 EM1002는 이상체의 크기와 함께 음파 반사강도에 따라 암반이나 퇴적물 등의 형체와 물성을 판별해 주는데 Fig. 10의 원내 이미지와 같이 수심 400 m에 있는 Dmitri Donskoi호 형체를 명확히 잘 나타내주고 있다.

멀티빔 탐사자료의 정확한 해석을 위해서 현장 탐사 전에 관측 장비들의 정확도를 검증하고 보정하여야 하는데, 센서의 위치 보정, 관측 값의 검증, 선체 움직임 (Pitch, Roll, Heave)에 따른 해상에서의 관측 자료 오차 보정을 수행하였다. 현장조사는 350톤급 이어도호를 이용하여 조사를 수행하였는데 위치 관측용 DGPS 센서와 선체 움직임 관측용 Motion 센서를 장착하여 관측의 정밀도를 높였으며, 관측된 자료가 멀티센서의 자료와 결합하여 현 위치의 해저면 이미지를 3차원으로 처리하였다. EM1002는 가상의 태양광선을 가정하고 3차원 영상을 만드는 소프트웨어를 가지고 있어 분석이 용이하며 이상체를 쉽게 파악 할 수 있는데 수심 1200 m 까지 조사가 가능하다.

역시 멀티빔인 Seabeam 2000은 12 kHz의 주파수로 전체 조사해역에 대한 개략적인 3차원 해저지형을 확인하기 위하여 한국해양연구원의 연구선 온누리호를 이용하여 해저면 영상조사를 수행했는데 약 10,000 m까지 탐사가 가능하다. 이것은 수백개의 음파를 동시에 발사하여 수백미터 해저면에서 반사되어 돌아오는 2차 반사파를 받아 컴퓨터에서 자동으로 지형도를 만드는 것이다.

Fig. 11의 Deep Tow System (SIS-300)은 55-56 KHz 복합주파수 특성을 갖고 있어 수직 방향으로 160도의 넓은 해역에 대한 해저면 영상을 제시하며 자력계의 기능을 갖고 있어 침몰선 형태뿐만 아니라 철성분을 함유한 이상체 확인에 사용된다. 따라서 넓은 해저 표면을 높은 해상도로 영상화시키는데 효과적이다.

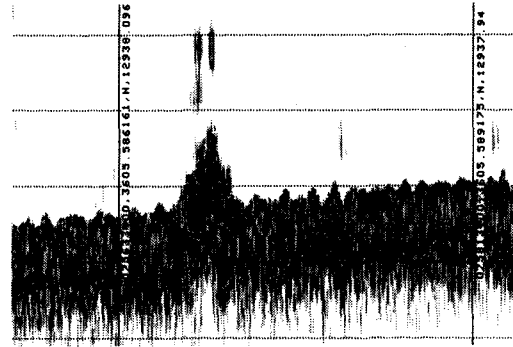


Fig. 8. Single beam echo-sounder image data from sunken ship called "Kyung shin Ho" in East sea.

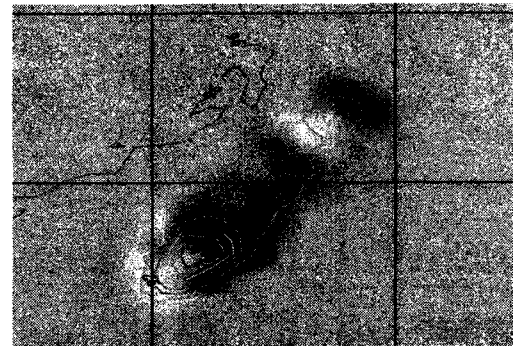


Fig. 9. Multibeam image data from sunken ship called "Kyung Shin Ho" in depth of 100m.



Fig. 10. Multibeam image data from sunken ship called "Dmitri Donskoi" at the depth of 400 m(circle solid line).

4-4-4. 잠수정 조사

수중 디지털 카메라는 높은 수압에도 견딜 수 있게 하우징에 넣어 수중을 촬영하는 장비로 하우징의 성능에 따라 견딜 수 있는 수심에 차이가 난다. 해저영상자료를 바탕으로 침몰선과 유사한 이상체에 대하여 해류방향에 따라서 이상체를 투영하지만 카메라를 목적하는 이상체 방향으로 유도하기가 매우 어려운 단점이 있다.

Fig. 12의 LBV1500 무인잠수정은 수심 1500 m까지 조사가 가능하며 해상의 조사선으로부터 유선으로 연결된다. 기기운영은 모니터 화면과 위치좌표 그리고 전방에 장애물이 있는지 없는지를 확인해주는 음파 쏘나 이미지를 보면서 리모트 컨트롤러로 조정하는데 인간의 접근이 곤란한 해역의 조사에 적합하다. 또한 ROV의 운반선이라고 할 수 있는 TMS (Tether Management System)에 의해 수분 내에 ROV를 수백 m의 조사 심도까지 인도하며 TMS에서 나온 ROV는 사방 100 m 주위를 조사한 후 다시 TMS 속으로 들어와 조사선까지 안전하게 운반되어진다. 유인잠수정이 한정된 시간과 수심 500 m를 내려가기 위해서는 약 1시간 정도 소요되는데 반해, ROV는 무한시간 사용이 가능하고 TMS를 사용할 경우에는 같은 심도를 수분 내에 하강할 수 있는 장점이 있다. 또한 심해지역을 탐사하거나 유인잠수정이 접근하지 못하는 협소한 지역을 탐사할 때 효율적으로 쓰인다. 심해속에서 탐사 중인 ROV의 위치 확인은 인공위성 자동항법시스템 (DGPS)과 해저위치 추적시스템을 이용하여 수행되며, 침몰선의 위치를 확인하면서 수중촬영과 필요한 물품의 샘플들을 소형 로봇팔로 채집한다.

유인잠수정은 사람이 직접 조종해 수중을 탐사하는 장비로 모선과 연결된 케이블이나 움직임에 제한적 요소가 없어 독자적인 활동이 가능하나 위험성이 적은 곳을 택하여 조사를 수행한다. 기본적으로 장착되는 장비로는 디지털 카메라, 전방물체를 확인하기 위한 scan sonar와 모선과의 통신을 위한 수중 통신장치 (Acoustic communication system), 위치를 확인하기 위한 위치추적장치 (Tracking system), 수심 측정 장비, 로봇팔 (Manipulator)등이 장착되어 있다. 조사해역에 투입된 Fig. 13의 유인잠수정 (pathfinder)은 600 m까지 탐사가 가능하며 잔해들의 채취는 심한 부식으로 특수한 방법을 보완하지 않고서는 인양이 곤란하였다. 침몰선체는 약 100년 동안 부식되었고 주변에 로프나 그물 등이 놓여 있어 가까이 접근하는 것은 매우 위험하다. 또한 급격한 경사지역에 놓여 있기 때문에 붕괴에 대비하여 위험요소를 제거한 후 접근할 필요가 있다.

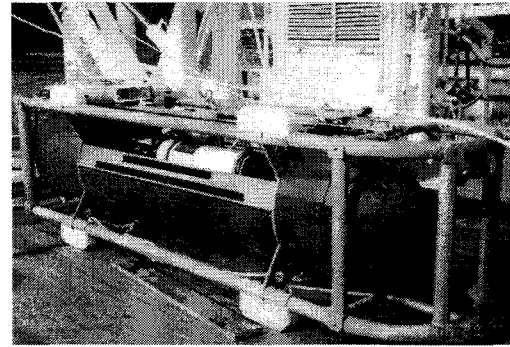


Fig. 11. Deep tow seafloor imaging system.

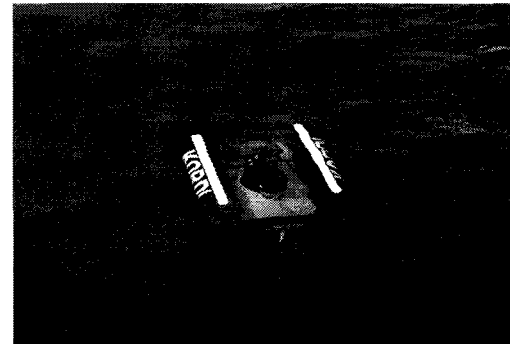


Fig. 12. LBV1500 ROV system.

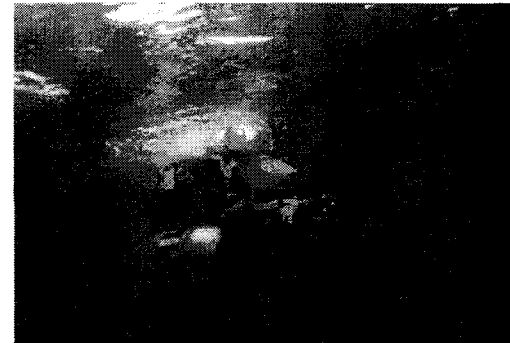


Fig. 13. Submarine Pathfinder of Maximu depth 600m, one man operation and 80 hours of continuously diving.

4-4-5. 부식강도 측정

해상에 장기간 침몰된 선박은 침몰형태 및 크기에 따라 그 인양 방법이 다양하게 이루어진다. 인양방법으로는 부력물체를 침몰선박에 고정하여 인양하는 부양용기식과 기중기를 이용한 기계적 부양방식이 있다. 침몰선체를 끌어올리는데는 적절한 기계적 강도가 필요하기 때문에 선체의 부식 손상 정도를 파악해야 한다.

일반적으로 해수환경에서 선체의 부식에 영향을 미치는 인자로는 온도, 용존산소의 농도, 염분도, 해류, PH의 변화, 기타 유기생물체로 인한 부식 등이 있다. 이러한 환경인자들은 해역과 수심에 따라 변화하기 때문에 대단히 복잡한 화학과정이며 각 인자들이 선체 부식에 어떤 변화를 일으키는지 확인해야 한다. 100년 된 침몰선의 부식정도를 전기화학적 방법으로 예측을 하여 인양작업이 가능하도록 기계적 특성을 평가하였다.

침몰선체는 수중에서 산화환원반응이 동시에 일어나며 반응 속도가 같으므로 전하가 보존된다. 전하보존의 원리와 전기화학 반응에서 전류와 반응물질 사이의 관계식인 페레데이 법칙을 이용하면 선체의 부식상태를 전기화학적 방법으로 나타낼 수 있다.

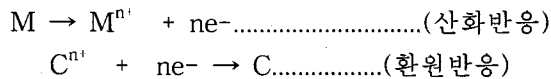


Fig. 14의 전기화학적 방법을 통하여 100년 된 선체의 부식강도를 예측해보면 초기강도에 비해 약 2/5정도 감소하였을 것으로 예측된다. 일반적으로 해수환경에서 선체의 부식에 따른 붕괴율은 환경인자의 영향도 크지만 시간이 지남에 따라 침몰선의 붕괴율을 나타내주는 Fig. 15와 같이 100년이라는 시간의 흐름도 매우 중요하다. 약 100년의 세월이 지난 Dmitri Donskoi호의 경우 그림상의 붕괴율과 비교할 때 실제 수중에 있는 Dmitri Donskoi호의 목재로 된 선체 하부는 부식이 되어 주저앉은 상태지만 상부의 철 구조물은 일부를 제외하고는 양호한 상태로 보존되고 있다.

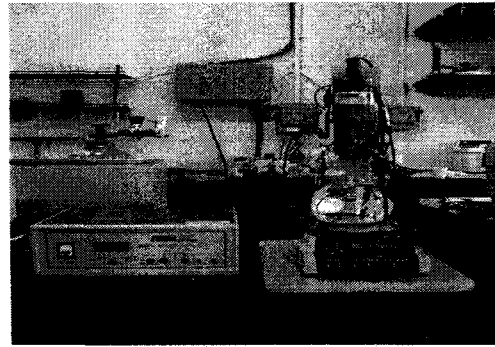


Fig. 14. Corrosion intensity measurement.

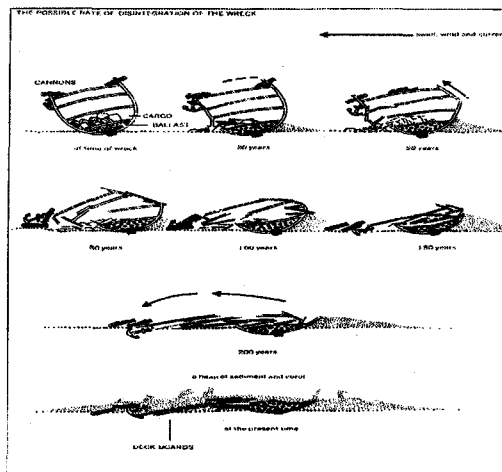


Fig. 15. The possible of disintegration of the wreck.

5. 결과 및 고찰

5-1. 이상체 분석

종합적인 탐사 과정을 거쳐 최종 선정된 하나하나의 이상체에 대해 비디오로 촬영하고 분석하였다. 그러나 대부분 대규모 암반체로 확인되었으며 다시 기존 조사방법을 재검토하고 그동안 제외시켜왔던 이상체들 중에서 재선정 작업을 하였다. 이상체의 크기 및 거리에 대한 정보는 컴퓨터로 쉽게 측정이 가능한데 음파탐사의 단점은 반사도가 비슷한 물체에 대해

서는 구별이 되지 않는다는 것이다. 따라서 대규모 암반지대로 이루어진 해저에서 암반과 침몰선의 구별은 매우 어려우며 다만 인공적인 물체인지 자연 그대로의 형태인지 등으로 식별이 가능할 뿐이다. 굴곡이 큰 심해 계곡에서 지구물리 탐사방법은 음파의 난반사로 중천해용 다중빔에 의한 탐사로만 가장 확실한 해저영상을 얻을 수 있었다(Fig. 10). 자력탐사에서 특정지역의 이상대가 발견되는데 이는 철 성분이 많이 함유된 대규모 화산암으로 확인되었으며 이러한 심해 화산 계곡에서의 이상체 확인은 지형의 특수성을 고려한 종합적인 탐사 자료의 비교분석이 필요하다.

5-2. 발견내용 및 위치

잠수정 조사에서 함포가 발견된 점으로 보아 침몰선은 균함이 틀림 없으며 전사기록 및 실물 모형과 비교할 때 Dmitri Donskoi호로 추정된다(Fig. 16). 침몰선 주변의 경사진 계곡을 따라서 불에 탄 흔적의 조타기를 비롯한 많은 잔해들이 널려있다. 특히 잔해 중에는 철 사이를 용접이 아닌 리벳트 형식으로 부착시킨 흔적이 관찰되며, 이는 용접기술이 개발되기 이전에 사용하던 방식으로 침몰선이 100년 이상 된 것임을 간접적으로 나타내주고 있다.



Fig. 16. 152 mm gun on the side of the sunken ship.

발견위치는 울릉도 저동 촛대바위 동쪽방향 2 km 해역의 수심 약 400 m에 50°도 정도의 경사인 절벽 중턱이며, 주변해역은 주로 암반으로 이루어져 있고, 침몰선은 빨질 퇴적물로 약간 덮여 있다(Fig. 17). 뱃머리는 계곡 쪽으로 향하고 있다. 여기서 뱃머리의 위치 및 방향은 Dmitri Donskoi호를 자침시키기 위하여 저동항을 출발했으므로 Dmitri Donskoi호로 규정하는데 중요한 판단 자료로 활용할 수 있다. 한편 발견된 Dmitri Donskoi가 자침위치에서 그대로 침몰했다고 가정할 때 침몰 위치에서 반대로 1.5해리 육상지역을 확인해 본 결과 전사기록에 나타난 동망루는 현재 도동의 망향봉으로 추정된다.

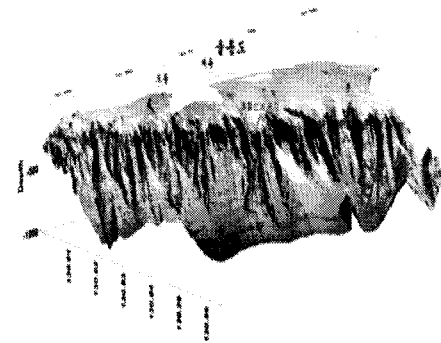


Fig. 17. Location map of the sunken ship around the Jeodong of the Ulleung island(circle solid line).

5-3. 발견 의의

100년 전 침몰한 Dmitri Donskoi호를 탐사하는 의의로 첫째, 침몰선을 인양하여 박물관 건립 등을 통한 울릉도의 관광 상품화가 가능하며, 둘째 국민에게 신비의 바다 및 해양과학의 중요성을 홍보하는 계기가 된다. 셋째, 첨단 해저유물 탐사기술을 배양할 수 있으며 넷째, 100년 전의 고증 사실 확인을 통한 역사 통찰이 가능하다. 다섯째, 상업영화 제작을 통해 고부가가치 창출이 가능하며, 여섯째, 경제성유물 발굴시 기업 및 나라경제에 기여를 할 수 있다. 끝으로 Dmitri Donskoi호와 관련된 영화나 도서 등 문화 마케팅 창출이 가능하다고 여겨진다. 또한 침몰선은 일종의 Time capsule이다. 따라서 침몰 및 추정시점을 정확히 알고 있으므로 100년간의 퇴적물을 측정할 수 있어 동해 지질환경 이해에 도움이 될 수 있

물리탐사 기술 심포지움

다. 해양공학적으로는 심해 수중 작업용 해양장비 개발 및 운용기술을 확보할 수 있는 계기가 될 수 있다.

이번 탐사에서 얻어진 성공의 주요인은 첫째 타이타닉 등 해양선진국의 탐사방법을 면밀히 분석하고 우리지형에 맞게 새로운 기법으로 전환시켜 사용한점이다. 두 번째로는 탐사장비별로 얻어진 정보를 상호 비교 분석할 수 있는 탐사요원의 분석력과 경험이 중요한 요소가 되었다. 세 번째로는 울릉도의 험준한 특수 해저지형에서 얻어지는 매우 특이한 경우의 정보와 영상 등을 정확히 과학적인 분석력으로 해독할 수 있는 기법을 습득한 것이다. 네 번째로는 러·일 전쟁의 전투상황을 종합적으로 판단하여 침몰선의 항로를 예측하고 당시 자침시킨 러시아 청년장교들의 심리상태를 정확히 예측한 것이 중요했다. 다섯째로는 수년간의 기상통계를 통하여 100년 전 침몰당시의 해류 등 기상을 정확히 예측한 것이 중요한 성공요인들이 되었다

특히 발견된 해역은 해저지형이 험준하여 최첨단 탐사방법으로도 매우 발견하기 힘든 지역이다. 수심은 깊지만 평탄한 지형에서의 타이타닉호 탐사에 비해 수심은 얕지만 화산지형의 급격한 경사와 계곡이 발달해 있는 해역에서 침몰선을 찾는 것은 비교될 수 없이 어려운 일이다. 타이타닉호의 경우 비교적 정확한 침몰좌표가 있었고, 미국 우즈홀 해양연구소와 프랑스 국립해양연구소의 기술협력과 미해군에서 유인잠수정의 지원 등 막대한 예산과 시간이 소요되었다. 반면에 Dmitri Donskoi호의 경우는 불확실한 전사기록과 지역주민의 100년 전 상황에 대한 회고 등 열악한 조건에서 시작되었으나 그동안 이룩한 탐사기술로 보완하여 그 결실을 보게 되었다.

이번의 발견은 세계적으로도 매우 드문 사례가 될 것이며 우리도 선진국 탐사기술과 나란히 할 수 있는 계기가 되었는데 이것은 우리나라 해양 탐사기술력과 해양지구물리 탐사기술의 노력 결과로 여겨진다.

5-4. 향후 계획

향후 정밀탐사를 통하여 실체 규명과 인양가능성 기술검토가 필요하며 인양이 가능할 경우 부분 또는 전체 인양 그리고 내용물 확인 등의 타당성 검토가 필요하다. 이러한 검토를 위해 침몰선체 주변에 널려 있는 어망, 로프, 구조물 등의 위험요소를 제거하고, 정밀탐사를 통하여 침몰선체 둘레를 촬영하고 정밀한 주변지형조사 및 지질조사를 할 예정이다. 그밖에 침몰선 주변의 해류변화나 현실기법 시뮬레이션 기술을 활용하여 3D 가상화를 추진하고 최종 인양가능성에 대한 기술검토를 통해 인양여부를 결정할 예정이다. 인양할 경우에는 육상 박물관을 만들어 관광 상품화가 가능하며 막대한 인양경비에 따라 인양이 어려울 경우에는 수중박물관을 만들어 여러명이 탑승할 수 있는 유인잠수정을 통하여 수중관광도 가능할 것으로 기대된다. 세부인양계획 수립 및 추진방안으로는 외국의 사례수집 및 해양공학적인 선체인양기술 연구, 선체의 상태에 적합한 선체인양 시뮬레이션 등이 요구된다.

아울러 신해양의 시대에 맞는 장기적인 해양문화 정책 수립이 필요하며 이에따라 과거 개발위주의 해양 정책에서 탈피하고 해양의 보호 내지는 해양문화의 중요성 인식이 필요하다. 우리나라 연안은 수중문화 유산의 보고로 해양과학기술을 이용하여 연안에 대한 총괄적인 해양 고고학적 조사가 필요하며 해저유물지도의 작성과 함께 이를 발굴, 인양하여 해양문화 자원으로 활용해야 하며 국가적 차원에서 발굴하여 보존할 필요성이 있다.

6. 결 론

울릉도 조사해역 주변 수심 분포는 계단식 형태를 보이며 300-800 m에서는 급경사면, 800-1000 m에서는 돌출 해저면이 나타나며 최대수심은 2200 m에 이른다. 경사도는 약 50-60°로 요철형태의 복잡한 해저지형이 분포하며 계곡을 따라 곳곳에 매우 강한 상승 해류가 존재하고 있다. 자력탐사에서 특정지역의 이상대가 발견되는데 이는 철 성분이 많이 함유된 대규모 화산암으로 확인되었다.

특히 경사도가 큰 심해 화산 계곡에서 침몰선 확인은 지형의 특수성을 고려한 종합적인 탐사자료의 비교분석이 필수적이다. 한편 시간 및 탐사비 절감을 위해서 탐사 전에 100년 전의 해전상황 유추와 해상상태의 정확한 분석도 침몰선 확인에 큰 도움이 되었다.

해양지구물리 자료의 종합 분석과 무인과 유인 잠수정의 조사결과 발견된 침몰선은 함포를 적재하고 있어 군함으로 판명되었으며 전사기록과 비교할 때 Dmitri Donskoi호로 추정된다. 목재로 이루어진 선체 하부는 부식되어 주저 않은 상태이나 상부 철선부분은 그대로 보존 되어 있고 일부는 붕괴가 되고 있는 모습이다. 100년 된 침몰선체의 부식정도를 전기화학적인 방법으로 예측해본 결과 초기강도에 비해 약 2/5정도 감소하였다. 전사기록에 나타난 동망루는 도동의 망향봉으로 추정되며 각종 기록에서 일본 전사기록이 가장 근접된 결과로 확인되었다. 향후 정밀탐사 및 인양을 통하여 내용물 확인 등 실체 규명이 필요하다.

참고문헌

- 김정구, 2000, 침몰선박의 부식강도 측정(한국해양연구원 위탁연구), 성균관대학교 금속공학과.
- 유해수, 2000, Millennium 2000 Project Report(BSPI 309-00-1381-5), 한국해양연구원.
- Ballard, R. D., 1998, Ghost Liners(Exploring the world's greatest lost ships: Madison press books.
- Baller, A., Walder, L., 2003, The salvage of the Kursk: Studio clarenburg.
- Bill Marr, 1985, TITANIC(Collector's Edition): National Geographic Society.
- Nabigian, M.N., 1972, The analytic signal of 2-D magnetic bodies with polygonal cross-section; Its properties and use for automated anomaly interpretation: *Geophysics*, **37**, 507-517.
- Nabigian, M.N., 1974, Additional comments on the analytic signal of 2-D magnetic bodies with polygonal cross-section: *Geophysics*, **39**, 85-72.
- Roest, W.R., J. Verhoef, and M. Pillington, 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal: *Geophysics*, **57**, 116-125.