Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 38, No. 3 pp. 333~341, 2014 ISSN 2234-7925 Print
http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2014.38.3.333 ISSN 2234-8352 Online

수중문화재 탐사기법 개발을 위한 퇴적물 물성분석

김성보[1] · 고은지[2] · 정용화[3] · 이영현[4] · 김진후†

(원고접수일 : 2013년 11월 6일, 원고수정일 : 2014년 1월 11일 , 심사완료일 : 2014년 3월 10일)

Physical property analysis of sediments for development of maritime archaeological survey techniques

Sung-bo Kim[1]· Eun-ji Ko[2]· Yong-hwa Jung[3]· Young-hyun Lee[4]· Jin-hoo Kim†

요약: 수중부에서의 유물의 분포와 보존은 해류와 조류 등의 유수의 작용에 직접적인 영향을 받을 뿐만 아니라 해저를 구성하는 퇴적물의 조성에 지대한 영향을 받으므로 수중문화재 조사에 있어서 해저부의 표층 퇴적물에 대한 지질학적 특징과 이로부터 해양작용의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 그랩 채취기와 진동식 시추기를 이용해 퇴적물 시료를 채취하여 해저 퇴적물의 물성을 파악하였으며, 이를 통하여 해저환경이 수중문화재 탐사기법 개발에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 해저 퇴적물 주상시료에 대해 물성분석 결과 밀도, 전단강도, 대자율 등은 깊이에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 함수율, 공극률 등은 감소하는 경향을 보였다. 주변암석의 대자율이 퇴적물의 대자율에 비해 약 40배 이상 크게 나타나 자력탐사에 큰 영향을 끼치는 것으로 생각된다. 깊이에 따른 물성 변화와 Folk`s 분류표에 의해 퇴적물의 유형을 분류한 자료를 분석 했을 때 해저퇴적물은 주로 실트로 구성되어 있으며, 유물은 해저면에서 깊이 1.5 m 이상 침투하지 못하는 것으로 나타났다.

주제어: 수중문화재 탐사, 퇴적물, 진동식 시추기, 그랩 채취기, 물성분석

Abstract: Since distribution and preservation of cultural artifacts in the submarine sediments are directly affected by not only ocean currents and tides, but also their composition, it is very important to investigate geological characteristics of sediments and ocean-sediment interactions for maritime archaeological survey. Physical properties of submarine sediments, which are collected by grab sampler and vibro-corer, are analyzed in order to investigate effects of submarine environment on development of maritime archaeological survey techniques. Result of physical property analysis showed that bulk density, shear strength, and magnetic susceptibility increase with depth, while water contents and porosity decrease with depth. Since the magnetic susceptibility of bedrock is about 40 times that of submarine sediments, it might impact greatly on the response of magnetic survey. Physical properties of sediments with depth and sediment classification by Folk's ternary diagram indicate that submarine sediment mainly consists of silt, and cultural artifacts can not penetrate no deeper than 1.5 m in sediments.

Keywords: Maritime archaeological survey, Sediments, Vibro-corer, Grab Sampler, Physical properties analysis

† Corresponding Author: Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, Hadan-dong, Saha-gu, Busan, 604-714, Korea, E-mail: jkim@dau.ac.kr, Tel: 051-200-7790

1 Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, E-mail: tamsabo@donga.ac.kr, Tel: 051-200-5550

2 Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, E-mail: eunjighgh@naver.com, Tel: 051-200-5550

3 National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, pkm228@hanmail.net, Tel: 061-270-2079

4 National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, lyh2343@naver.com, Tel: 061-270-2079

1. 서 론

수중부에서의 유물의 분포와 보존은 해류와 조류 등 유수의 작용에 직접적인 영향을 받을 뿐만 아니라 해저를 구성하는 퇴적물의 조성에 지대한 영향을 받으므로 수중문화재 조사에 있어서 해저부의 표층 퇴적물에 대한 지질학적 특징과 이로부터 해양작용의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

수중문화재 조사를 위한 탐사기법에 대한 연구 및 물성분석을 통한 환경적 요인 분석에 대한 연구는 탐사기기의 발달과 더불어 국내외에서 꾸준히 연구되고 있으나, 탐사를 통한 수중 유물의 발견은 매우 제한적이다. Kim et al. **[1]**은 지구물리 탐사기법을 이용하여 수중문화재 조사기법에 관한 연구를 수행하였으며, Ko et al. **[2]**은 진도 해역의 퇴적물 및 이상체 물성 분석을 통한 수중문화재 탐사기법 기초연구를 수행하였다. Carreón-Freyre et al. **[3]**은 Chalco basin, Mexico에서 지하투과 레이더 기법을 사용하여 층서학과 퇴적물의 물성분석 결과의 상관관계에 대해 연구를 수행하였다. 유사 연구로서 해양환경에서 매장된 이상체에 대한 음향신호분석, 고성 당항만의 퇴적층에 대한 퇴적층 특성분석 등의 연구가 수행된 바 있다**[4][5]**.

이밖에도 수중문화재 보존과 밀접한 관련이 있는 해양퇴적환경에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다. Lee **[6]**는 진해만 퇴적물의 탄성파 특성 및 퇴적작용에 대한 연구를 수행하였으며, Park et al. **[7]**은 남동해역의 현생 퇴적환경에 대한 연구를 수행한 바가 있다.

이러한 노력에도 불구하고 해양탐사를 통한 수중문화재의 발견은 거의 보고된 바가 없으며, 어로활동 등 우연한 기회에 발견된 것만이 보고되어 발굴로 이어지고 있는 실정이다. 기존의 수중문화재 조사는『매장문화재 조사업무 처리지침』에 따라 모든 현장에 동일한 기준으로 측선을 설정하도록 되어 있어, 현장 상황에 적합한 탐사기기의 선정 및 운용이 이루어지지 않고 있으며, 이를 개선하기 위한 노력도 없었다. 따라서 본 연구에서는 수중문화재 조사의 성공률을 높이고, 현장 상황에 맞는 탐사기법을 도출하기 위하여 현재 발굴작업이 진행되고 있는 진도해역의 해저퇴적물에 대한 물성연구를 시도하였다.

해저퇴적물의 물성분석을 통하여 수중문화재 탐사에 적합한 탐사장비 선정 및 운용방법 개발, 탐사측선 간격 설정, 자력계의 수중 고도 설정, 지층탐사 심도 설정 등을 위한 기초자료를 제공하고자 하며, 나아가 수중문화재 지표조사 단계에서 이상체 발견을 위한 기술향상 도모와 각종 해양 개발에 따른 수중문화재 보존관리에 기여하고자 한다.

본 연구를 위해 사용된 퇴적물 물성분석 기법은 체적밀도, 함수율, 공극률, 전단강도, 대자율, 초음파속도, 입도분석 등이며, 이를 통해 해양환경요소 및 수중문화재 탐사에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 연구지역

연구지역은 전라남도 진도군 고군면 오류리 전면해상으로, 현재 수중 발굴작업이 진행되고 있는 지역과 이격을 고려하여 선정하였다 (**Figure 1**).

연구지역은 다중빔 음향측심기(SeaBat 7125, Reson, 400 kHz)를 이용한 정밀 해저지형조사, 고주파 지층탐사기(SES-2000, Innomar, 6 ㎑)를 이용한 해저지층탐사, 해상자력계(SeaSPY, Marine magnetics)를 이용한 지자기 조사 결과, 퇴적층의 두께가 1~3 m이며, 해저면의 수심은 8~14 m로 남서에서 북동으로 깊어지며 자장의 변화는 49,450~49,510 nT로 약 60 nT의 자력변화를 가지는 안정된 지역이다.

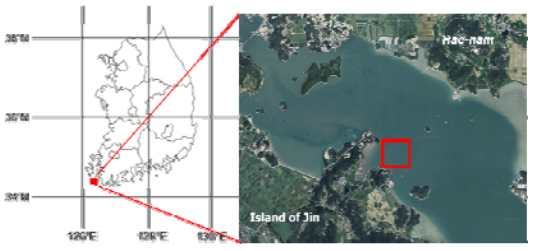


Figure 1: Location map of the study area

동서, 남북으로 각 100 m (100 m×100 m)인 지역을 연구지역으로 선정하였으며 연구대상 지역의 지질은 백악계 분류산성암층 산성분류암질 응회암으로 알려져 있다 (**Figure 2**).

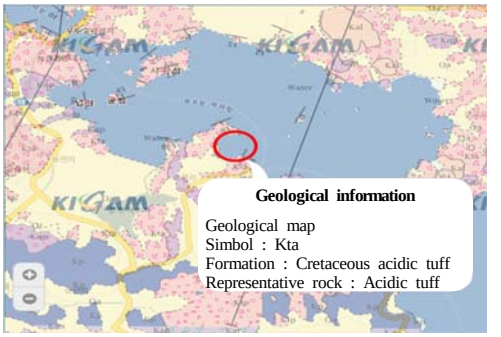


Figure 2: Geological map (KIGAM) of the study area

3. 퇴적물 시료 취득

해양 탐사장비 중 음파를 이용해 탐사를 실시할 경우 음파의 투과 정도는 퇴적물의 물성에 영향을 많이 받기 때문에 퇴적물에 대한 입도분석은 필수적이며, 이를 위해 해저 주상시료 및 표층시료를 취득하여 각종 물성 분석 및 입도분석을 실시하였다.

3.1 해저 주상시료 취득

주상 시료를 취득하기 위하여 진동형 시추기인 바이브로 코어러(Vibro Corer)를 이용하였다. 바이브로 코어러는 기존의 중력식 코어러(Gravity Corer)나 피스톤식 코어러(Piston Corer)에 비해 관입심도가 깊고 시료채취가 용이한 장점을 가지고 있다**[8]**.

취득한 주상시료를 분석하여 음파의 투과특성과 물성의 수직분포와의 관계를 규명하고자 하였다. **Figure 3**과 같이 2개 지점(VC01, VC02)에서 주상시료를 채취하고 현장 분석이 필요한 체적밀도, 함수율, 전단응력, 초음파 측정을 50 ㎝ 간격으로 실시하였으며, 현장시험이 끝난 시료는 밀봉하여 실험실로 이동한 후 추가 분석을 실시하였다.

3.2 해저 표층시료 취득

표층 시료를 취득하기 위하여 **Figure 3**과 같이 6개 지점(G01~G06)에서 그랩(Grab) 채취기를 이용하여 해저 표층 시료를 채취하고 시료는 밀봉하여 실험실로 이동한 후 분석을 실시하였다.

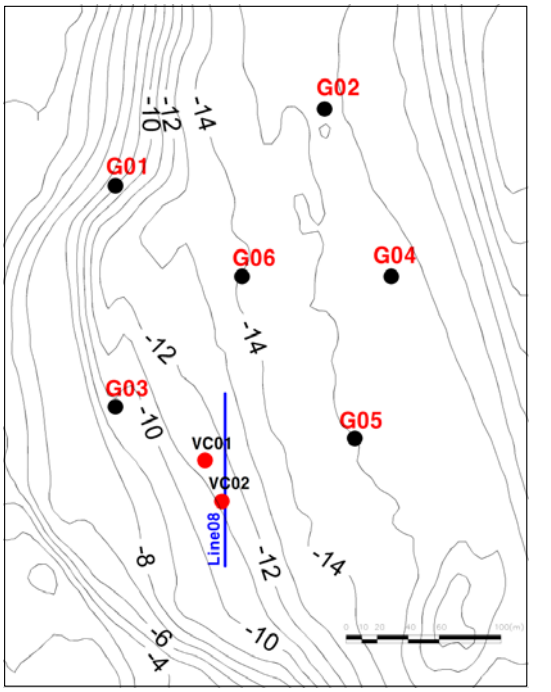


Figure 3: Vibro coring and grab sampling positions in the study area

4. 물성 분석 방법

채취한 퇴적물을 이용하여 체적밀도, 함수율, 공극률, 전단강도, 초음파 속도, 대자율 및 입도분석을 수행하였다. 분석에 사용된 퇴적물의 물성, 종류 및 용도는 **Table 1**에 정리하였다.

4.1 체적 밀도 분석

퇴적물의 체적밀도 측정으로 음향 임피던스 차이를 산출하여 이상체의 부존 가능성에 대한 기본정보를 획득하거나, 이상체의 보존 가능성을 추정할 수 있다.

소일 실린더(Soil Cylinder)의 체적과 무게를 측정한 후 퇴적물을 소일 실린더에 넣고 무게를 측정하여 퇴적물의 체적밀도를 **식 (1)**로 구하였다.

$$\rho = \frac{w_a - w_c}{V} \tag{1}$$

여기서, ρ는 체적밀도, w_a는 시료무게(젖은시료+

실린더), w_c는 실린더 무게, V는 소일 실린더 체적이다.

Table 1: Physical properties of sediments to be analyzed.

Physical property	Sample type	No. of Samples	Usage
Bulk Density	Vibro corer samples (VC01, VC02)	8	Calc. of acoustic impedance Preservability of artifacts
Water content & Porosity	Vibro corer samples (VC01, VC02)	9	Preservability of artifacts Degree of corrosion
Shear strength	Vibro corer samples (VC01, VC02)	9	Sediments hardness Ease of excavation Burial depth limit
Ultrasonic velocity	Vibro corer samples (VC01, VC02)	8	Calc. of acoustic impedance
Magnetic susceptibility	Vibro corer samples (VC01, VC02) & Rock sample	9	Strength of induced magnetic field Possibility of magnetic survey
Grain composition & Grain size distribution	Vibro corer samples (VC01, VC02) & Grab samples (G01~06)	15	Depositional environment/ Sediment classification Preservability of artifacts Acoustic transmission

4.2 초음파 속도 분석

퇴적물의 초음파 속도는 초음파속도 측정기(Sonic viewer-170, OYO)를 이용하여 측정하였다.

퇴적물 측정용 트랜스듀서를 절단된 주상시료에 삽입 하여 퇴적물의 초음파 속도를 구한 후 앞에서 구한 체적밀도를 곱하여 주상시료의 구간별 음향 임피던스를 구해 비교하였다.

4.3 함수율 및 공극률 분석

함수율과 공극률 분석을 통하여 유물의 보존 가능성과 부식정도를 파악할 수 있다. 함수율(w)과 공극률(ϕ)은 소일 실린더 중량(w_c) 및 소일 실린더와 젖은 시료 무게(w_a)를 측정하고, 시료를 110 ℃로 일정 중량이 될 때 까지 노건조 시킨 후 마른 시료의 무게(w_b)를 측정하여 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 구했다.

$$w = \frac{w_a - w_b}{w_b - w_c} \times 100 \tag{2}$$

$$\phi = \frac{w_a - w_b}{V} \times 100 \tag{3}$$

여기서, V는 소일 실린더 체적 이다.

4.4 전단강도 시험

전단강도는 퇴적층의 굳기에 대한 정보를 제공하며, 매장 유물의 보존 가능성을 추정하는데 사용된다. 전단강도 시험기는 250 ㎪ (㎏/㎠) 까지 측정 가능한 휴대용 전단강도 시험기(Pocket vain tester, Eijkelkamp)를 이용하였으며, 주상시료에 대하여 50 ㎝ 간격으로 측정하여 분석하였다.

4.5 대자율 측정

대자율은 물질이 자화될 수 있는 정도를 나타내며, 대자율 값이 클수록 자철석의 함량이 많아 지구자기장에 의해 쉽게 유도 되는 특성을 갖는다.

조사지역에서 자력탐사 가능성 여부를 알아보기 위하여 깊이별로 시료를 취득하여 대자율 측정기(Model-3101, Bison)를 이용하여 측정하였다.

시료의 길이 l (㎜), 시료의 직경 d (㎜)인 원주상 시료인 경우 시료크기에 따른 보정은 **식 (4)**, **식 (5)**를 이용해 보정계수 c_l, c_d를 각각 구한 후, 이를 측정값에 곱해 보정하였다.

$$c_l = \frac{77.7}{l} \tag{4}$$

$$c_d = \left(\frac{25.4}{d}\right)^2 \tag{5}$$

식 (4)에서 77.7은 홀더의 길이를, **식 (5)**에서 25.4는 홀더의 직경을 mm단위로 각각 나타낸 값이다.

암편 또는 분말 시료인 경우, 100 ㏄ 눈금이 새겨진 시험관을 이용하여 공극률 보정을 수행하였다. 공극보정계수(c_n)을 구하기 위하여 눈금 위 까지 시료를 채우고 100 ㏄ 눈금까지 물을 채워 물이

들어간 부피 V(㏄)를 측정한 후 **식 (6)**을 이용하여 공극보정계수를 구하였다.

$$c_n = \frac{100}{100 - V} \tag{6}$$

4.6 입도분석

퇴적물의 조성비에 따른 분류 및 입도 분포 특성을 분석하여 이상체의 잔존 가능성을 예측하고, 퇴적현상을 규명하고자 하였다.

No. 10 (2 ㎜)체를 통과한 흙을 입도분석기(S3500, Microtrac)를 통하여 입도분포를 측정한 후, 측정결과를 Folk`s 분류법에 의해 분류하였으며 입도분포에 대한 통계학적 분석(평균입도 : $\overline{x}$, 분급도 : σ, 왜도 : $skewness$, 첨도 : $kurtosis$)을 수행하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 깊이에 따른 밀도 및 초음파 속도 변화

깊이에 따른 퇴적물의 밀도변화를 **Table 2**에 나타내었다. VC01의 체적밀도는 1.63~1.86 g/㎤ 의 범위를 보이며, 깊이 50 ㎝ 까지는 증가하다가, 깊이가 깊어지면서 약간 감소하는 경향을 보인다. VC02의 체적밀도는 1.67~1.80 g/㎤ 의 범위를 보이며, 깊이 100 ㎝ 까지는 큰 변화를 보이지 않으나 100 ㎝ 이후 구간에서는 다소 증가하는 경향을 보인다.

VC01의 경우 깊이 50 ㎝ 부근에서 밀도차에 의한 퇴적층의 경계가 나타나며, VC02의 경우 깊이 150 ㎝ 부근에서 경계가 나타나고 있다.

깊이에 따른 초음파 속도 측정값과 음향 임피던스의 변화는 **Table 3**과 같이 나타났다.

VC01의 초음파 속도는 1.51~1.74 ㎞/s 의 범위를 보이며, 밀도분포와 마찬가지로 깊이 50 ㎝ 까지는 증가하다가, 깊이가 깊어지면서 약간 감소하는 경향을 보인다. VC02의 초음파 속도는 1.56~1.71 ㎞/s 의 범위를 보이며, 깊이 150 ㎝ 까지는 큰 변화를 보이지 않으나 깊이 150 ㎝ 이후 구간에서는 다소 증가하는 경향을 보인다.

Table 2: Bulk densities of sediments

Sample	Depth (㎝)	Bulk density (g/㎤)
VC01	0	1.63
	50	1.86
	100	1.78
VC02	0	1.69
	50	1.70
	100	1.67
	150	1.74
	200	1.80

VC01의 경우 깊이 50 ㎝ 부근에서 초음파 속도에 따른 퇴적층의 경계가 나타나며, VC02의 경우 깊이 150 ㎝ 부근에서 경계가 나타나고 있다.

음향 임피던스로부터 산출된 해저면의 반사에너지는 약 6 % 이며, 퇴적층과 기반암(밀도: 2.67 g/㎤, 속도: 5.30 ㎞/s) 경계에서의 반사에너지는 약 40 % 로 나타나 퇴적물의 음파 투과성은 양호한 것으로 보인다.

Table 3: Ultrasonic velocities and acoustic impedances of sediments

Sample	Depth (㎝)	Velocity (㎞/s)	Acoustic impedance
VC01	0	1.51	2.46
	50	1.74	3.24
	100	1.68	3.00
VC02	0	1.56	2.64
	50	1.65	2.81
	100	1.57	2.62
	150	1.65	2.87
	200	1.71	3.08

5.2 깊이에 따른 함수율 및 공극률 변화

VC01의 함수율은 33.5~58.3 % 의 범위를 보이며, 깊이 50 ㎝ 까지는 감소하다가 깊이 50 ㎝ 이후 다소 증가하는 경향이 관찰된다. VC02의 함수율은 33.4~55.5 % 의 범위를 보이며, 깊이 50 ㎝ 까지는 증가하다가, 50 ㎝ 이후 구간에서 서서히 감소하는 경향을 보인다.

Table 4: Water contents and porosities of sediments

Sample	Depth (㎝)	Water content (%)	Porosity (%)
VC01	0	58.3	59.9
	50	33.5	46.7
	100	38.2	49.2
VC02	0	50.0	56.4
	50	55.5	60.8
	100	54.8	59.2
	150	49.7	57.7
	200	35.8	47.6
	250	33.4	45.6

VC01의 경우 50 ㎝ 이하에서 함수율에 따른 퇴적층 경계를 확인할 수 있으며, VC02의 경우 깊이 50 ㎝ 와 150 ㎝ 부근에서 퇴적층의 경계를 확인할 수 있다.

VC01의 공극률은 46.7~59.9 %의 범위를 보이며, VC02의 공극률은 45.6~60.8 % 의 범위를 보인다. 깊이에 따른 공극률 변화는 전체적으로 함수율 변화와 유사한 경향을 보인다(**Table 4**).

5.3 깊이에 따른 전단강도의 변화

VC01의 전단강도 범위는 2.19~14.2 ㎪ 이고, 깊이가 깊어질수록 전단강도가 증가하는 경향을 보인다. 깊이 50 ㎝ 부근에서 전단강도 차이에 따른 퇴적층의 경계를 확인할 수 있다. VC02의 전단강도 범위는 6.56~109.36 ㎪ 이며, 깊이 150 ㎝ 이상에서 급격하게 증가하여 뚜렷한 퇴적층의 경계를 보이고 있다(**Table 5**). 전단강도가 깊이 150 ㎝ 이상에서는 급격하게 증가하기 때문에 수중유물의 최대 매몰 심도는 150 ㎝ 이내로 판단된다.

5.4 깊이에 따른 대자율 변화

깊이에 따른 대자율 값의 변화를 **Table 6**에 나타내었다. VC01의 대자율은 75×10^{-6}~352×10^{-6} cgs의 값을 보이며, 깊이 50 ㎝ 부근에서 최대값을 나타낸다. VC02의 대자율은 64×10^{-6}~182×10^{-6} cgs 값을 보이며, 깊이 200 ㎝ 이하에서 급격하게 증가하고 있다.

Table 5: Shear strengths of sediments

Sample	Depth (㎝)	Shear strength (㎪)
VC01	0	2.19
	50	12.46
	100	14.21
VC02	0	7.65
	50	6.56
	100	6.56
	150	7.21
	200	54.68
	250	109.36

조사지역 인근에서 취득한 산성분류암질 응회암의 대자율 측정값은 $3{,}973\times10^{-6}$ cgs로 해저 퇴적층에 비해 약 40배 정도 높게 나타나 자력이상은 대부분 기반암의 분포와 밀접한 연관이 있을 것으로 보인다. 따라서 해저에 자력이상체가 존재한다면 암석의 대자율보다는 훨씬 크고, 부피도 커야만 자력탐사로서 자력이상체의 발견이 가능할 것으로 보인다.

진도해역의 자력탐사에서 자기이상이 관측되지는 않았지만 청동화포가 발굴된 사례가 있다. 이는 비록 청동화포의 대자율이 암석의 대자율에 비해 클 것으로 예상되지만 크기가 작고, 자력계의 수심 고도가 높아 자력이상의 탐지가 불가능했던 것으로 판단된다.

Table 6: Magnetic susceptibilites of sediments and a rock

Sample	Depth (㎝)	Magnetic susceptibility (cgs)
VC01	0	75×10^{-6}
	50	352×10^{-6}
	100	96×10^{-6}
VC02	0	80×10^{-6}
	50	84×10^{-6}
	100	72×10^{-6}
	150	64×10^{-6}
	200	120×10^{-6}
	250	182×10^{-6}
Rock sample		$3{,}973\times10^{-6}$

5.5 퇴적물 입도의 통계적 분석

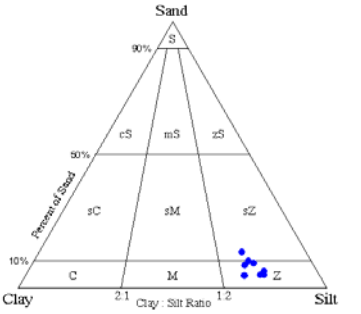
퇴적물의 입도분석 결과를 **Table 7** 에 나타내었으며, Folk`s 분류법을 이용하여 삼각조성도에 **Figure 4** 와 같이 표시하였다. 또한 입도분석 결과를 이용하여 평균입도, 분급, 왜도, 첨도를 산출하여 **Table 8** 에 나타내었다. 주상시료(VC01, VC02)와 표층시료(G1~G6)의 입도분석 결과 퇴적물은 대부분 실트로 구성되어 있다. VC01의 평균입도는 18.22～21.28 ㎛이며, 분급은 1.31～1.77로 Poorly sorted로 분류된다. 왜도는 0.590～0.625로 Very positively skewed로 분류되는데, 이는 평균입도보다 큰 크기의 입자를 갖는 퇴적물이 일부 혼재되어 있는 것을 나타낸다. 첨도는 0.242～1.283 으로 표준정규분포에 비해 입도의 분산이 크게 나타나고 있다. VC02의 평균입도는 13.65～23.22 ㎛이며, 분급은 0.92～1.77로 Moderately sorted 내지 Poorly sorted로 분류된다. 왜도는 0.370～0.696으로 VC01과 마찬가지로 Very positively skewed로 분류되며, 첨도는 표층을 제외하면 1.634～1.951로 VC01에 비해 전체적으로 큰 값을 보인다. VC01의 경우 깊이 50 ㎝ 부근에 분급이 나쁘고 첨도가 매우 낮은 지층이 협재되어 있는 것으로 보이는데, 이는 다른 물성실험 결과 나타나는 지층의 경계와 일치하고 있다. VC02의 경우 깊이 200 ㎝ 부근에 왜도와 첨도의 급격한 변화가 관찰되는데, 이 또한 다른 물성실험 결과에서 나타나는 지층의 경계와 좋은 일치를 보인다. 본 해역은 육지와 가깝고 조류에 의한 영향을 많이 받는 지역으로, 실트질 퇴적물이 풍부하고 분급도와 첨도가 낮으며 함수율과 공극률이 상대적으로 큰 퇴적층 상부에서는 목재 유물의 잔존 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

5.6 퇴적물의 물성과 탄성파 단면의 상관성

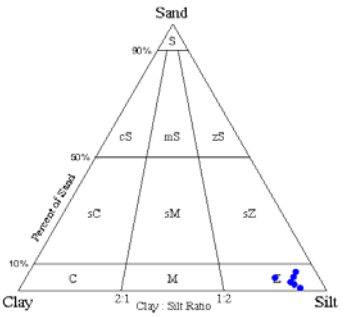
Figure 5는 VC02 지점에 대한 지층탐사 단면도를 보여주며 탐사측선은 **Figure 3**에 나타내었다(Line08). 깊이 약 150 ㎝ 부근에서 퇴적층 경계가 나타나는 것을 볼 수 있으며, 깊이 약 250 ㎝ 지점에서 퇴적층과 기반암의 경계가 나타나는 것으로 보인다.

Table 7: Compositions of sediments

Sample	Depth (㎝)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
VC01	0	9.27	71.54	19.19
	50	10.18	69.12	20.20
	100	8.41	69.26	22.33
VC02	0	13.43	65.75	20.82
	50	6.21	75.59	17.20
	100	4.95	76.08	18.97
	150	4.86	77.27	17.87
	200	4.47	70.99	24.54
	250	4.50	71.11	24.39
G1	seafloor	0.94	91.03	8.03
G2		2.42	88.36	9.22
G3		5.10	86.80	8.10
G4		4.90	80.74	14.36
G5		7.00	86.43	6.57
G6		3.31	86.53	10.16



(a)



(b)

Figure 4: Ternary diagram of sediments: (a) Vibro coring samples and (b) Grab samples

Table 8: Statistical analyses of sediments

Sample	Dep. (㎝)	Avg. (㎛)	Sorting	Skewness	Kurtosis
VC01	0	21.28	1.44	0.602	1.029
	50	20.54	1.77	0.625	0.242
	100	18.22	1.31	0.590	1.283
VC02	0	23.22	1.77	0.696	0.381
	50	20.59	0.95	0.409	1.950
	100	18.65	0.95	0.409	1.951
	150	19.27	0.92	0.370	1.971
	200	13.65	1.09	0.514	1.634
	250	14.33	1.08	0.517	1.689
G1	sea-floor	14.45	0.67	0.308	1.792
G2		19.95	0.87	0.468	1.634
G3		21.22	0.81	0.405	1.869
G4		16.22	0.99	0.540	1.573
G5		19.95	0.87	0.468	1.634
G6		16.54	0.83	0.442	1.698

깊이 약 150 ㎝까지의 상부 퇴적층의 음파 투과성은 양호한 것으로 보이나, 그 하부 퇴적층에서는 음파 투과성이 불량한 것으로 보인다.

Figure 6은 VC02의 퇴적물 물성분석 결과를 깊이에 따라 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 깊이 150 ㎝ 이후에서 물성의 급격한 변화가 관찰된다.

6. 결 론

수중유물의 발굴이 진행되고 있는 진도해역의

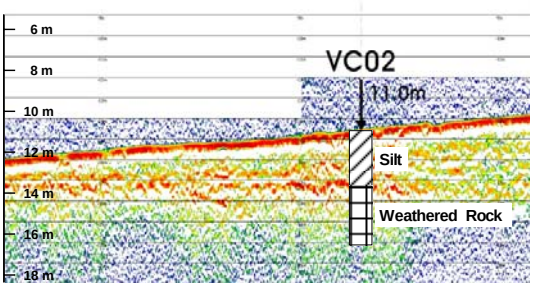


Figure 5: A parametric SBP seismic section showing sedimentary layers at the coring position (VC02)

해저 퇴적물 물성분석을 통해 수중문화재 탐사기법 개발을 위한 기초 연구를 수행 하였다. 해저 퇴적물 주상시료에 대해 밀도, 함수율, 공극률, 전단강도, 대자율, 초음파속도 등을 분석한 결과 밀도, 전단강도, 대자율 등은 깊이에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 함수율, 공극률 등은 감소하는 경향을 보였다.

진도 해역의 경우, 주변암석의 대자율이 퇴적물의 대자율에 비해 약 40배 이상 크게 나타나 자력탐사에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 자력탐사로 수중유물을 발견하기 위해서는 수중유물의 대자율이 암석의 대자율보다 훨씬 크고, 부피도 커야하며, 자력계의 수심고도를 최대한 낮춰 운용하는 것이 필요하다.

깊이에 따른 물성 변화와 퇴적물 입도분석 결과로 볼 때 본 해역의 퇴적층은 음파투과가 비교적 용이한 실트로 구성되어 있으며 분급도와 첨도가

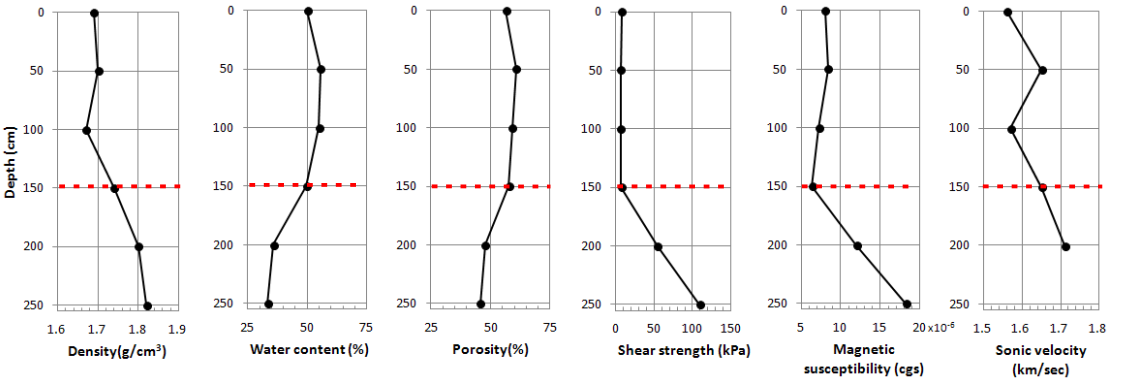


Figure 6: Variation of physical properties with depth

낮은 퇴적층이 협재되어 2~3개의 지층으로 구분된다. 이와 같은 결과는 지층탐사 결과와도 잘 부합하여 시추조사가 수행되지 않은 지역에 대한 지층탐사 자료해석의 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다. 또한 퇴적물의 조성과 음파투과 특성에 맞는 정밀 지층조사기기의 선정과 주파수 설정 등에도 활용이 가능할 것으로 보인다.

함수율과 공극률이 상대적으로 큰 퇴적층 상부에서는 목재 유물의 잔존 가능성은 낮을 것으로 판단되며, 전단강도가 깊이 150 ㎝ 이상에서는 급격하게 증가하고 함수율과 공극률은 급격히 감소하기 때문에 수중유물의 최대 매몰 심도는 150 ㎝ 로 판단된다. 따라서 함수율, 공극률, 전단강도 등의 물성을 이용하여 제토 깊이를 설정한다면 발굴에 필요한 제토계획 수립에도 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

수중문화재 탐사의 성공률을 높이기 위해서는 탐사에 앞서 퇴적물의 물성분석이 필요한 것으로 판단되며, 이를 통해 ① 지층 탐사기의 종류와 사용주파수 제시, ② 제토장비, 심도, 인원, 시간 등 제토계획 수립, ③ 정밀지층탐사자료 해석의 신뢰도 향상, ④ 자력탐사를 통해 발견 가능한 수중유물의 최소 크기 예측, ⑤ 탐사측선 간격의 설정, 자력계의 수중고도 설정, 지층탐사 심도 설정, ⑥ 목재 유물의 잔존 가능성 파악 등이 가능할 것으로 보여 수중유물 탐사 및 발굴에 직간접적으로 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 국립해양문화재 연구소의 『수중문화재 탐사기법 개발』 연구사업의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

[1] J. H. Kim, and S. B. Kim, “High resolution geophysical methods for marine archaeology”, Proceedings of the 36th KOSME Spring Conference, p. 262, 2013 (in Korean).

[2] E. J. Ko, S. B. Kim, Y. H. Jung, Y. H. Lee, and J. H. Kim, “A basic study for maritime archaeological survey through sediment and anomalous body analyses in Jin-do area”, Proceedings of the 37th KOSME Fall Conference, p. 124, 2013 (in Korean).

[3] D. Carreón-Freyre, M. Cerca, and M. Hernández-Marin, “Correlation of near-surface stratigraphy and physical properties of clayey sediments from Chalco basin, Mexico, using Ground Penetrating Radar”, Journal of Applied Geophysics, vol. 53, no. 2-3, pp. 121-136, 2003.

[4] J. H. Kim, K. M. Han, and J. N. Park, “Acoustic signal analysis for exploration of buried objects in the ocean”, The Journal of the Korean Society of Ocean Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 167-174, 1995 (in Korean).

[5] J. H. Kim, S. B. Kim, Y. H. Lee, C. S. Kim, and C. K. Ryu, “A study on geology and sediment characteristics in Danghang bay area, Gyeongnam”, The Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 8, pp. 1203-1211, 2010 (in Korean).

[6] K. W. Lee, Seismic Characteristics and Depositional Process of Sediments in Jinhae Bay, Southeastern Coast of Korea, M.S. Dissertation, Department of Oceanography, Chungnam National University, Korea, 1992 (in Korean).

[7] S. C. Park and K. W. Lee, “Mordern sedimentary environment of Jinhae Bay, SE Korea”, The Journal of the Korean Society of Oceanography, vol. 31, no. 2, pp. 43-54, 1996.

[8] H. D. Kim, J. H. Kim, and C. K. Ryu, “Investigation of bottom sediments by using a VibroCorer system”, Proceedings of the 26th KOSME Spring Conference, p. 221, 2007 (in Korean).