

# 퇴적물의 입도 및 전단강도를 이용한 인공어초 침하특성

김호상<sup>†</sup> · 김창길 · 서영교\* · 김길영\*\*

국립수산과학원 수산자원관리조성센터 · \*지마텍주식회사

\*\*한국해양대학교 해양과학기술연구소

## Subsidence Characteristics of Artificial Reefs using Sediment Grain Size and Shear Strength

Ho-Sang KIM<sup>†</sup>, Chang-Gil KIM, Young-Kyo SEO\*, and Gil-Young KIM\*\*

National Fisheries Research & Development Institute, \*Gematek corporation

\*\*Research Institute of Marine Science & Technology, Korea Maritime University

### Abstract

This paper describes the mean grain size and shear strength properties related to subsidence characteristics using sediment samples and acoustic images obtained from artificial reef areas in Tongyoung and Jangsungpo offshore. The acoustic images collected from chirp sonar and side scan sonar show well the attitude/orientation, the distribution pattern, and the degree of subsidence of artificial reefs, suggesting the possibility of suitable site investigation and the management of the reefs using acoustic sonar. The sediments were largely composed of clayey silt and silty clay. The mean grain sizes in Tongyoung and Jangsungpo offshore show the ranges of 5~8 $\phi$  and 8~9 $\phi$ , respectively. The shear strength was significantly increased at the depths of 20cm in Tongyoung offshore and 80cm in Jangsungpo offshore, corresponding to the subsidence depth of artificial reefs. The relationship between mean grain size and shear strength did not show a correlation, suggesting the shear strength does not totally depend on mean grain size. Provided subsidence characteristics with respect to various artificial reefs and seabed condition are investigated in more details, the constructing area of the reef can be more extended.

Key words : artificial reef(인공어초), subsidence(침하), grain size(입도), soft sediment(연약지반), shear strength(전단강도)

### 서론

해저 연약 지반 (특히 점토질 지반)에 구조물을 건설하거나 건설 후 이것의 매몰 가능성 등을 예측하기 위해서는 해양 토질의 지질 공학적인 특성을 정확하게 파악할 수 있어야 한다. 왜냐하면 연약 지

반은 함수율과 공극율이 높을 뿐만 아니라 압축성이 크고 지지력이 작은 특성을 가지고 있으므로 외부의 충격이나 상부 하중에 의해 항상 변이될 수 있는 불안정한 상태를 유지하고 있기 때문이다. 그러나 불가피하게 연약 지반에 구조물을 설치해야 하는 경우 연약 지반에 대한 정확한 정보를 얻을 수

<sup>†</sup>Corresponding author: khs@nfrdi.re.kr

있으면 지반의 개선 작업을 통하여 설치 가능성을 높일 수 있다.

이를 위해서는 해저 연약 지반에 대한 강도 측정이 필요하며, 지금까지 해저의 연약 지반에 대한 강도 (주로 전단강도) 측정은 해양 광물자원 조사, 항로 준설, 폐기물 처리장 건설, 군사 시설 및 그 목적과 연관된 해양 환경조사 등에서 주로 이루어져 왔다. 이 경우 연약지반의 강도 측정은 현장 및 실험실에서 수행되고 있으나 현장의 경우, 이것을 하기가 쉽지 않다. 즉, 연약 지반의 강도는 동일한 퇴적물형을 가진다고 하더라도 다짐 및 고화 작용 등의 속성 작용에 따라 다른 값을 보여주기 때문에 퇴적물의 조직(주로 입도 크기)만을 이용하여 절대적으로 판단할 수 없다.

인공어초는 어류나 패류 등 수산 자원의 서식장, 먹이장, 산란장 등의 장소를 제공하기 위하여 바다 속에 인위적으로 조성하는 수중 구조물이다. 우리나라에서는 1971년부터 시험적으로 인공어초를 시설하기 시작하여 2003년까지 약 5,900억원이 투자되어 172천ha의 인공어초 단지가 조성되었다. 그런데 해저에 인공어초를 시설하기 위해서는 인공어초 시설 대상 해역에 대한 적지조사를 수행하는 것이 필요한데, 이 조사는 크게 생물, 물리 및 화학적 조건 등에 대한 조사와 간단한 지질학적 조사로 나누어져 있다(해양수산부, 2004).

이러한 적지조사 항목 중에서 해저 지형, 저질 조건 등은 시설된 인공어초의 침하 및 매몰 등을 유발할 수 있는 것으로 어초의 기능 유지와 관련된 중요한 조건이다. 그러나 지금까지 이 분야에 대한 연구로는 착저식 인공어초의 기능 유지 및 극대화와 관련하여 어초 부하 저질 거동에 관한 안정성 연구(류 등, 1994)와 원통형 어초의 세굴 및 퇴적 특성에 관한 연구(Kimura *et al.*, 1994)가 있다. 또한 Kim *et al.*(1995)은 파랑장에서 어초 저면 형상에 따른 세굴과 퇴적특성에 대한 연구를 수행하였으며, 하(2002)는 연약 해저 지반상 인공어초의 침하와 매몰 특성에 관한 연구를 수행한 바 있다. 하지만 이들 연구는 전체적인 저질의 세굴과 퇴적 등의 경향을 나타내는 것이고, 실험시 인공어초 적지 여부를 판정하는 조건으로 적용하기 어려운 실내에서 교란된 지반을 재현하였다. 따라서 인공어초 적지 판정을 정확하게 하기 위해서는 실험해역에서의 지반 특성 조사가 수행되어야 하나 조사비용과 시간을 고려하면 현실적으로 쉽지 않기 때문에 조사 비용

과 시간을 절약하면서 효과적으로 인공어초의 적지를 판정할 수 있는 새로운 방법의 개발이 요구되어 왔다.

본 연구는 실험해역의 연약 지반에 시설된 인공어초 지역에서 지층 조사 및 퇴적물의 특성(주로 입도 및 전단강도)에 대한 분석을 통하여 인공어초의 침하 특성을 조사하고, 이들 결과를 바탕으로 향후 연약 지반 해역에 인공어초를 시설하는 경우에 있어서 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 해저 퇴적물의 시료 채취

인공어초 설치 지역의 해저 퇴적물 특성을 알아보기 위해서 인공어초가 많이 설치되어 있는 곳인 통영 및 장승포 지역(Fig. 1)을 선정하였고, Figure 2와 같은 해저 퇴적물 채취 장비인 중력시추기를 사용하여 통영 지역에 7개 지점, 장승포 지역에 4개 지점을 선정하여 수직적인 주상 시료를 채취하였으나 시료의 상태를 고려하여 통영 지역의 T2 및 장승포 지역의 J1은 본 연구에서 제외 하였다. 채취에 사용된 중력시추기의 총 길이는 약 2m이다. 시추 지점은 탄성파의 탐사 자료를 바탕으로 선정하였고 채취된 주상 시료는 교란되지 않게 잘 밀봉하였다.

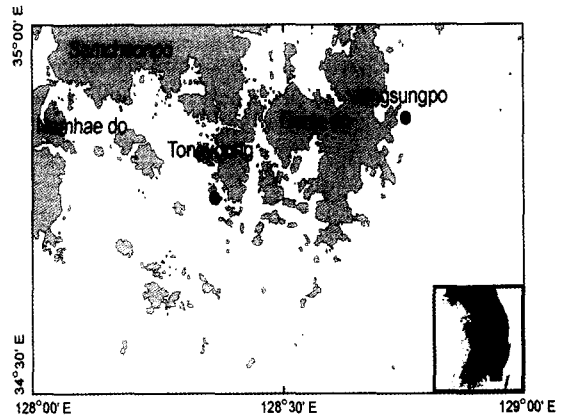


Fig. 1. Map showing two sample locations and adjacent area. The artificial reefs area around Tongyoung and Jangseungpo off-shores (marked by solid circles) are selected for this study.

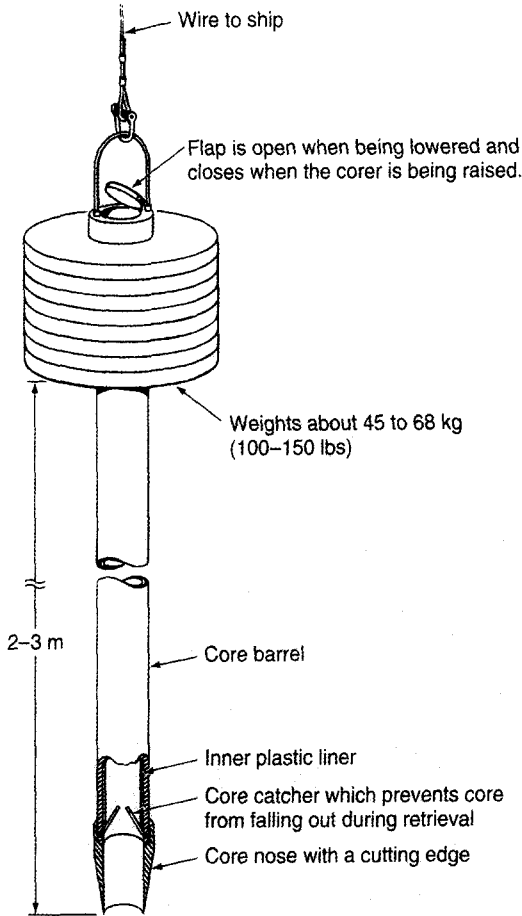


Fig. 2. A schematic diagram showing a typical configuration of gravity corer. Each part is explained in the figure.

## 2. 탄성파(Chirp sonar) 탐사

탄성파 탐사는 주파수에 따라 탐사 대상이 다르므로 본 조사에서 사용한 해저 지층 탐사기(Datasonic, Model: CAP-6000W)는 고주파수 대역(2~7kHz)으로 투과력은 약 30~40m로 작으나 분해능이 수십 cm로 우수한 음원을 사용하기 때문에 정밀 음파 탐사가 가능한 장비다.

탄성파 탐사 장비의 분해능은 파장에 따라 결정되며, 경험적 이론에 의하면 파장의 1/4을 분해능으로 간주하고 있으나 실제로는 1/3~1/2 정도로 보는 것이 적당하다(Trabant, 1984). 주파수와 파장의 관계는 (1)식과 같다.

$$\lambda = \nu / f \dots\dots\dots(1)$$

여기서,  $\lambda$  : 파장(m)

$\nu$  : 속도(m/s)

$f$  : 주파수(Hz)

따라서 가장 흔히 사용하는 탄성파 장비의 주파수를 3.5kHz, 퇴적층 내의 음파의 전달 속도를 1,500m/s라고 가정하면, 파장은 42cm가 되며, 이 때의 분해능은 최소 20cm부터 최대 10cm까지 가능하다. 이와 같은 해상도는 본 연구와 같은 인공어초의 적지 조사 및 사후 관리 조사에 적절하다고 사료된다.

## 3. 측면 주사 음향 (Side scan sonar) 탐사

측면 주사 음향 탐사 장비는 조사 축선의 양면 해저 지형을 연속적으로 보여주므로 해저면의 지형 기복과 해저면 퇴적물의 분포 변화 양상 및 침물선 뿐만 아니라 해저면에 설치되어 있는 다양한 구조물의 형상까지도 영상화하는데 아주 유용하게 이용되고 있다.

측면 주사 음향 탐사기는 10~500kHz의 고주파수 음파를 10~20°의 좁은 각도와 부채꼴 모양의 빔 형태로 송신하여 해저면에 반사되어 온 반사 자료를 영상화 한다. 최근에는 아주 작은 물체까지도 탐지할 수 있는 약 2,400kHz의 고주파수 대역을 사용하고 있다. 본 연구에서 사용된 장비의 주파수 범위는 100~325kHz (Ultrasonics, Model 3050E WIDESCAN)이었으며, 스위치폭은 최소 75m에서 최대 800m이다.

## 4. 위치정보획득

육상 및 해양에서 수행되는 각종 연구 조사에서 연구 목적에 부합되는 정확한 위치 정보를 획득하는 것은 필수적이므로 반드시 병행되어야 한다. 본 조사에서는 관측 자료의 위치 정보 획득을 위해 Novatel사의 DGPS(Differential Global Positioning System) 수신기(ProPak II)를 이용하였다. 이 경우 수신기로부터 획득된 위치 정보로부터 탄성파 탐사의 관측선과 시료 채취 점점의 정확한 위치를 획득하였고, 획득된 위치 정보는 Hypack Max 소프트웨어를 사용하여 조사 정점 및 조사 축선을 도시화하는데 이용하였다.

## 5. 퇴적물 분석

채취한 코어는 실험실로 옮긴 후 코어 절단기를

이용하여 반으로 절개하여 코어 깊이별로 일정한 간격에 따라 퇴적물의 조직(평균입도, 퇴적물 유형 등)과 비배수 전단강도를 측정하였다.

퇴적물의 조직은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 일정량의 시료를 취하여 10%의 염산으로 탄산염을 제거한 후 6%의 과산화수소수로 유기물을 제거하고 증류수를 이용하여 용해성 염분을 제거한 후 4 $\phi$ (0.062mm) 체로 습식 체질을 하여 분석하였다. 그리고 4 $\phi$  이상의 조립질 부분은 건조시킨 후 로텡요동기를 사용하여 1 $\phi$  간격으로 체분석하여 입도의 중량 백분율을 구하였다. 또한 세립질부는 퇴적물 입도 자동 측정기(Model Sedigraph 5100)를 사용하여 분석하였고, Folk and Ward(1957) 및 Folk(1968)의 모멘트 방법에 따라 조직값을 구하였다. 여기서 퇴적물의 입자 크기는 Krumbein(1934)이 제안한 파이 척도 { $\phi$  scale,  $\phi = -\log_2 d$  (d: mm 단위로 나타낸 입자의 직경)}를 사용하였다.

한편, 비배수 전단강도는 퇴적물이 저항할 수 있는 최대의 전단력으로 포화된 니질 퇴적물의 경우 응집력을 의미한다. 이것의 측정에는 일정한 강도를 가지고 지속적으로 배인을 회전시킬 수 있는 자동 응력 측정장치(Geotest Model 23500)를 사용하였다. 배인의 크기는 퇴적물의 특성에 따라 결정되며 전단강도는 아래 (2)식의 변수들과 관계식에 의해 결정된다.

$$S_u = 2T_q / [\pi D^2 (H+D/3)] \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서,  $S_u$  : 비배수전단강도(kN/m)
- $T_q$  : 최대 토오크(N·m)
- $D$  : 배인의 직경(cm)
- $H$  : 배인의 높이(cm)

본 연구에서 사용된 배인은 지름 및 높이가 각각 1.27cm이며,  $T_q$ 는 최대 토오크 값으로 결정되며 최종적으로 계산된 전단강도 값은 kN 단위로 전환하였다. 물론 이 관계식이 성립하기 위해서는 시료가 등방성의 강도 특성을 보여야 되며, 강도가 가해지는 형태도 원기둥 모양의 파괴면을 따라 동시에 발생한다는 가정의 전제가 필요하다(Lee, 1985).

### 결과 및 고찰

1. 탄성과 탐사 및 측면 주사 음향 탐사 결과  
인공어초 시설 지역에 대한 탄성과 탐사 및 측면

주사 음향 탐사 결과 어초의 분포 형태, 자세 및 매물 정도에 대한 대략적인 양상을 알 수 있었다(Fig. 3 및 4). 먼저 Fig. 3a에서 보면 통영지역의 탄성과 탐사 결과 인공어초가 일정 깊이까지 침하되었을 가능성을 보여 주고 있으며, Fig. 3b에서의 측면 주사 음향 탐사 자료를 보면 사각형어초가 소규모로 산적된 형태를 유지하고 있는 어초단지로서 높이는 3~4m 정도이었다. 또한 어초들은 서로 군집을 이루고 있고 설치된 어초의 자세, 방향 및 매물의 형태를 잘 관찰할 수 있다. 특히 어초들의 분포 형태를 보면 대부분이 한 장소에 집중되어 시설되어 있는 것으로 나타났고 설치된 인공어초도 서로 겹쳐지거나 군집을 이룬 상태로 존재하고 있는 것이 확인되었다. 이와 같은 분포 특징은 어초 시설 시 한 장소에 집중적으로 설치하는 어초시설 방식에 기인된 것으로 사료된다. 특히 이 지역은 한국해양연구원에서 바다목장화 사업을 추진하고 있는 주변 해역에 해당되며 해저에는 다양한 표층 퇴적물상이 분포하고 있고 퇴적층은 해저면 하부 약 20~40m 정도의 두께를 가지며 내부층리가 미약하게 발달되어 있는 특징을 잘 보여주고 있다(Fig. 3a). 따라서 향후 인공어초의 침하와 매물 특성에 대한

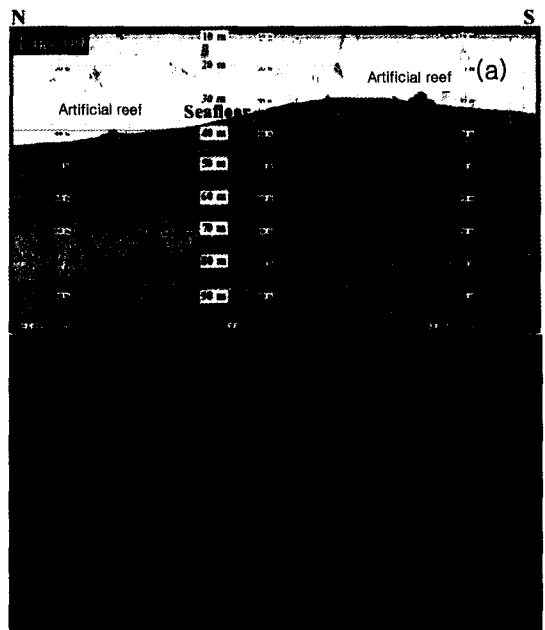


Fig. 3. Acoustic images collected from Tongyoung offshore using chirp sonar (a) and side scan sonar (b), respectively. Note that the reefs are clearly identified.

구체적이고 세밀한 연구가 보다 더 활발히 수행되어야 할 것이다.

장승포지역은 사각형어초를 시설한 지역으로서 탄성과 단면상에서 큰 규모의 어초 군집을 확인할 수 있었으며(Fig. 4a), 단면상에서 보면 그 침하 깊이도 통영에 비해 크게 일어나고 있었다. 또한 측면 주사 음향 탐사 자료 역시 통영의 그것에 비해 규모가 큰 산적 형태를 잘 보여주고 있다(Fig. 4b). 특히, 이 지역의 인공어초는 1999년도에 시설된 것으로 200개와 300개의 사각형어초를 크레인으로 현수 거치하여 산적 방식으로 설치되었으며 가장 높은 곳은 4~5m이었다.

상기에서와 같이 탄성과 탐사 자료 및 측면 주사 음향 탐지기는 인공어초 시설을 위한 적지관정에 유용한 자료를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 시설 후에 일어날 수 있는 어초 주변의 퇴적 현상까지도 정밀하게 관찰할 수 있음을 알 수 있다. 또한 인공어초의 시설 상태나 매물과 급격한 해양 환경 변화로 초래될 수 있는 어초의 자세, 방향 등 인공어초의 사후관리 조사에도 용이하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

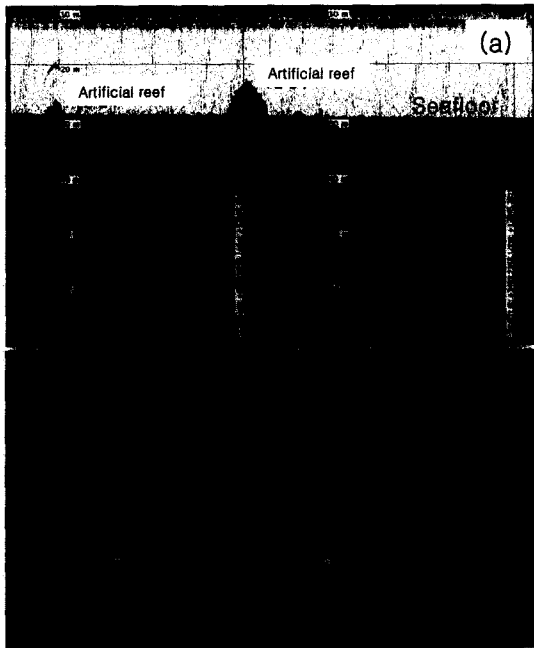


Fig. 4. Acoustic images collected from Jang-sungpo offshore using chirp sonar (a) and side scan sonar (b), respectively. Note that the reefs are clearly identified.

## 2. 퇴적물 분석 결과

해저 퇴적물의 주상 시료에 대한 분석 결과, 평균 입도는 통영지역이 5~8 $\phi$ , 장승포 지역은 8~9 $\phi$  정도로서 통영 지역이 약간의 조립질 퇴적물로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 또한 전단강도는 통영이 1~5kPa, 장승포 지역은 1~4kPa로 입도에 의한 영향으로 통영 지역이 약간 높았다. 그리고 깊이에 따른 평균 입도의 경우 통영 지역인 3과 6정점을 제외하면 대부분의 퇴적물들이 수직적인 값의 변화가 크지 않았으나, 전단강도는 전반적으로 깊이에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있다(Fig. 5 및 6).

통영의 경우 7정점에서 퇴적층 깊이 30cm에서 전단응력 값이 갑자기 증가하는 경향을 보여주고 있는 반면 다른 정점에서는 퇴적층 20cm 깊이에서 크게 증가하는 경향을 보여주고 있다(Fig. 5).

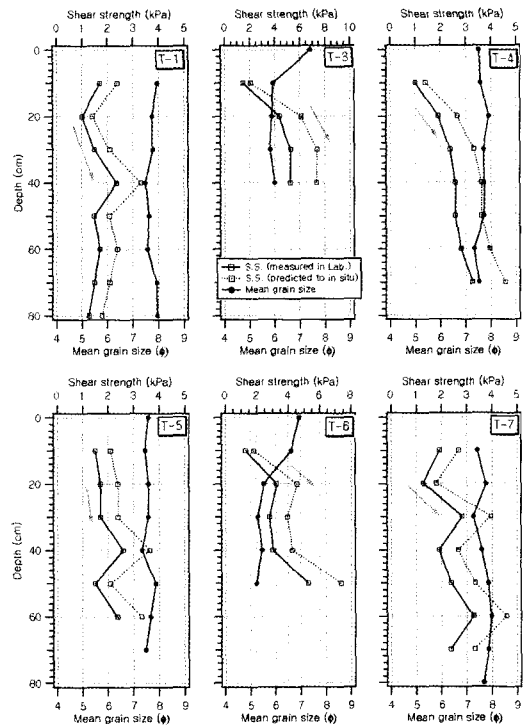


Fig. 5. Profiles of mean grain size and shear strength at Tongyoung offshore. Note that the shear strength abruptly increase below about 20cm depth.

장승포의 경우 2와 3정점은 20~30cm 깊이를 기준으로 증가하는 경향을 보여주고 있으나, 4정점

의 경우는 30~50cm 깊이 구간에서 특이하게 낮은 전단강도 값을 보여주고 있다(Fig. 6). 이와 같은 이유는 이 깊이에서 갑작스런 퇴적물의 증가 또는 퇴적물의 교란에 의한 영향으로 전단강도 값이 낮게 나타났기 때문이라고 사료된다(Lee, 1985; Kraft *et al.*, 1976). 그러나 퇴적층 80cm 깊이부터는 모든 정점의 전단강도 값이 크게 증가하는 것으로 미루어 보아 이 깊이부터 퇴적물의 다짐작용이 크게 증가된 것으로 사료된다.

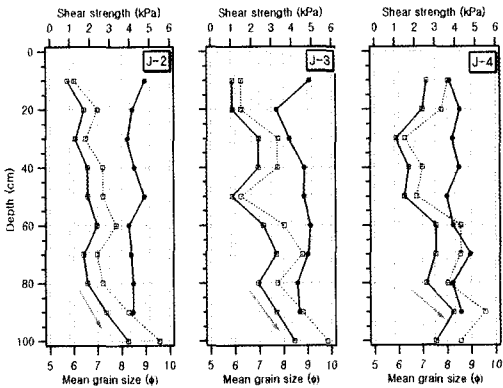


Fig. 6. Profiles of mean grain size and shear strength at Jansungpo offshore. Note that the shear strength abruptly increase below about 30cm depth. The legends are the same as Figure 5.

조사해역인 통영 및 장승포 지역의 퇴적물에서 획득한 모든 주상시료 자료의 평균입도 및 전단강도간의 상관관계를 보면(Fig. 7) 두 지역 모두 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 유사한 퇴적물의 조직을 갖는 경우에도 퇴적시의 퇴적 과정이나 퇴적 환경 그리고 퇴적 후의 축성 작용 등에 따라 지반의 특성이 달라지기 때문이다(Kim, 1998). 따라서 같은 조직 특히 평균 입도가 유사하다고 할지라도 퇴적물의 특성이 달라질 수 있기 때문에 정확한 지반의 특성을 예측하기 위해서는 간단한 입도 특성만을 가지고 판단하는 것은 큰 무리가 있을 것으로 본다. 특히 인공어초가 설치되는 연안 지역은 높은 퇴적물을 보이는 경우가 많으며 태풍과 같은 심한 해양 환경 변화에 노출되어 있기 때문에 비교적 많은 조사 자료를 바탕으로 한 보다 엄밀한 해석이 필요하다.

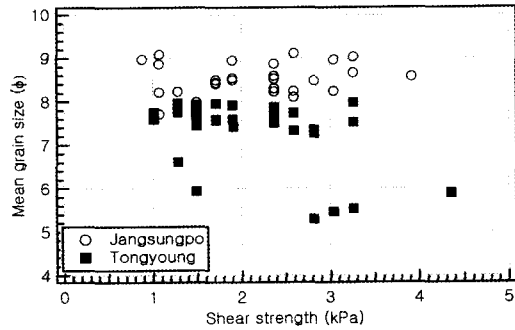


Fig. 7. Relationship between mean grain size and shear strength. Note no correlation.

또한 해저면에 대한 전단강도의 정확한 예측을 위해서는 실제 현장에서 그 값을 측정하여야 하나 이것이 현실적으로 쉽지 않기 때문에 대부분 실험실의 자료를 이용하여 현장 값으로 추정하고 있다. 일반적으로 실험실의 값이 현장 값 보다 1.4배 정도 낮은 것으로 알려져 있으나(Lee, 1985) 퇴적물이 완전한 소성을 가질 경우에는 반대의 경우가 될 수도 있다. 대개의 경우 실험실 값에 대한 현장 값의 비는 0.7~2.5의 분포 범위를 가진다(Kraft *et al.*, 1976). 이 비는 퇴적물의 소성 정도가 감소하거나 굳기 정도가 증가함에 따라 일반적으로 증가하게 된다(Lee, 1985). 이 비를 이용하여 본 조사 지역의 실험실 자료를 현장의 값으로 예측하여 보았다. 본 자료에는 퇴적물의 액성 및 소성에 대한 결과가 없기 때문에 일반적인 현장 및 실험실 값의 차인 1.4를 곱하여 현장 값으로 하였고 그 변화량을 실험실 값과 동시에 도시하였다(Fig. 5 및 6). 실험실에서 측정한 자료와 마찬가지로 현장 값으로 예측한 전단강도 값이 상대적으로 크게 증가하는 깊이는 정점에 따라서 다르지만 약 20~30cm 깊이에서 나타나는 것을 볼 수 있으며, 대부분의 정점에서 최소값이 2kPa 이상이고 최대 약 8kPa까지 높은 전단강도 값을 보여주고 있다. 따라서 적지조사시 시추 코어를 이용한 퇴적물 특성을 잘 분석한다면 실제 현장의 전단강도 값을 측정하지 않더라도 실험실 값을 이용하여 현장 전단강도 값을 어느 정도 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 전단강도의 변화 깊이는 조사 지역에서 실제 실시한 잠수 조사 결과를 바탕으로 제시된 인공어초의 침하 깊이가 통영 해역이 20~30cm이었고 장승포해역은 50~70cm로서 전단강도의 변화 경향과 거의 일치하

는 것으로 보아 퇴적물의 평균 입도보다 전단강도가 인공어초의 침하 특성을 잘 나타내는 것으로 사료된다.

지금까지의 조사 결과에 의하면 연약 지반에 시설된 인공어초의 침하는 니질의 함량이 높더라도 퇴적층이 가지는 전단강도의 특성에 따라 침하 특성이 달라질 것으로 보인다. 특히 평균 입도가 같은 경우일지라도 퇴적될 때의 퇴적물이나 코어의 교란 작용, 퇴적 후에 나타나는 가스 포함 유무 등 다양한 요소에 따라 전단강도의 값이 달라지기 때문에 해저면의 침하 특성을 비교적 정확하게 예측하기 위해서는 이러한 사항을 잘 고려해야 한다. 특히, 조사 지역의 경우 실험실에서 측정된 전단강도 값이 2 $klb$  이상이면 일정 깊이까지 침하가 일어날 수 있어도 더 이상의 침하가 진행되기 위해서는 많은 시간이 소요될 것으로 추정된다. 따라서 해저 퇴적층에 대한 전단강도의 특성은 앞에서 고려한 다양한 요소에 의하여 다를 수 있으며, 또한 인공어초의 크기, 형태, 무게 등 종류에 따라 지반의 침하 특성도 다양할 수 있기 때문에 조사시 이러한 제반 문제를 고려해야 할 것으로 사료된다.

## 요 약

통영 및 장승포 지역에 설치된 인공어초의 침하특성을 조사하기 위해서 중력시추기를 이용한 해저 퇴적물 채취와 탄성과 탐사기 및 측면 주사 음향 탐지기를 이용한 인공어초의 상태를 조사하였다. 퇴적물 시료는 실험실에서 입도 및 전단강도에 대한 측정이 이루어 졌고 탄성과 자료는 음향 특성에 따라 그 특징을 해석하였다.

탄성과 자료를 분석한 결과 연구지역에 광범위하게 분포하고 있는 퇴적층에 인공어초가 어느 정도 침하되어 있음을 알 수 있었다. 또한 측면 주사 음향 탐지기의 영상을 분석한 결과 대부분의 인공어초들은 군집 혹은 서로 중첩되어 분포하고 있는 것으로 나타나서 음향자료를 이용한 인공어초의 상태를 전반적으로 파악할 수 있었다.

획득된 주상시료 분석 결과 평균 입도 5~8 $\phi$ 이며, 전단강도는 1~5 $klb$ 를 보였다. 평균 입도의 경우 정점별로 수직적인 값의 변화는 작은 반면, 전단강도 값은 평균 입도에 비해 깊이가 깊어질수록 증가하는 양상을 보였다. 특히, 전단강도 값은 퇴적층 깊이가 약 20~40 $cm$ 에서 갑자기 증가하는데 이것은 조사 지역에서 실시한 잠수조사 결과를 바탕으로 인공어초의 침하

깊이 20~30 $cm$ 와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 조사 지역의 경우 전단강도 값이 약 2~3 $klb$  이상을 가지는 곳에서는 침하 현상이 거의 일어나지 않거나 아주 느리게 일어나고 있는 것으로 사료된다.

본 조사 지역과 같이 니질의 함량이 높고 입도가 유사한 경우에도 퇴적 과정 혹은 퇴적물 특성의 차이나 퇴적 후의 속성 작용에 의한 전단강도 값의 증가를 기대할 수 있으며, 또한 인공어초의 종류와 크기, 무게, 형태 등에 따른 해저면의 침하 특성도 다를 수 있기 때문에 향후 보다 종합적인 요인에 대한 분석이 이루어진다면 연약 지반 해역에 대한 인공어초의 시설 대상 범위는 지금보다 더 확대될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- Folk, R.L., and Ward, W.C.(1957) : Brazos river. A study in the significance of grain-size parameters, J. Sed. Petrology 27, 3-27.
- Folk, R.L.(1968) : Petrology of sedimentary rocks, Hemphill's Austin, Texas, 170pp.
- Galehouse, J.S.(1971) : Sedimentation analysis. In: Procedures in sedimentary petrology. Carver, R.E. (ed.), Wiley-Interscience, 69-74.
- Ingram, F.L.(1971) : Sieve analysis. In: Procedures in sedimentary petrology. Carver, R.E. (ed.), Wiley-Interscience, 69-74.
- Kim, J.Q., Mizutani, N., and Iwata, K.(1995) : Experimental study on the local scour and embedment of fish reef by wave action in shallow water depth, Proc. of ECOSSET 95, 168-173.
- Kim, G.Y.(1998) : Geotechnical property and paleoceanographic characteristics of the late Quaternary Ulleung Basin sediment, the East Sea, Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, 247pp.
- Kimura, H. and Iwata, K.(1985) : A study on local scour of cylinder artificial fish reefs, Fisheries Engineering 31(1), 33-40.
- Kraft, L.M., Ahmad, N., and Focht, J.A.(1976) : Preceedings, 8th Annual Offshore Technology Conference, 2626, Houston,

- TX, 75-96.
- Krumbein, W.C.(1934) : Size frequency distributions of sediments, J. Sed. Petrology 4, 65-77.
- Lee, H.J.(1985) : State of the Art: Laboratory determination of the strength of marine soils. In: Strength testing of marine sediment: and In-situ measurements, ASTM STP 883, Chaney, R.C. and Demars, K.R. (Eds.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 181-250.
- 류청로, 류연선, 신현옥(1994) : 해양목장화를 위한 적정어초 및 설계기술 개발, 수산청, RCOID 931-1213-06-1, 276pp.
- 하현철(2002) : 연약해저지반상의 인공어초 침하 매물특성에 관한 연구, 부경대 석사학위논문, 79pp.
- 해양수산부(2004) : 인공어초 시설 사업집행 및 관리규정, 해양수산부훈령 제328호. 129-131.

---

2004년 12월 22일 접수

2005년 1월 29일 수리