

## 어초어장으로 시설된 사각형어초의 수량 산정 및 유효공용적 평가

김호상<sup>1</sup> · 이정우<sup>1</sup> · 김종렬<sup>1</sup> · 윤한삼<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>국립수산업과학원 자원조성사업단

<sup>2</sup>부경대학교 해양산업개발연구소

## Estimation of Countermeasures and Efficient Use of Volume of Artificial Reefs Deployed in Fishing Grounds

Ho Sang Kim<sup>1</sup>, Jeong Woo Lee<sup>1</sup>, Jong Ryeol Kim<sup>1</sup> and Han Sam Yoon<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>Fisheries Resources Enhancement Center, NFRDI, Busan 612-902, Korea

<sup>2</sup>Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea

### 요 약

본 연구에서는 인위적인 어장 조성을 위해 해저에 시설된 사각형어초의 현존 상태 및 수량을 평가하고자 Multi-Beam Echo Sounder(MBES)와 Side Scan Sonar(SSS) 등의 조사에서 생산된 자료를 사용하여 단위어초의 부피, 산적 어초의 체적 및 공극률을 계산하고 이를 잠수조사 결과와 비교함으로써 단위어초(사각형 어초)의 현존 시설량 산정공식의 효율성을 검토하였다. 부산연안에 시설되어 있던 총 9곳의 사각형어초로 구성된 단위어초의 평균 유효공용적을  $k$ 값은 0.753이었으며  $k$ 값과 시설경과년수(year, Yr)와의 상관식은  $k=0.0023Yr+0.725$ 로 추정되었으나 그 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 인공어초 설치후 시간이 경과할 수록 산적되어진 어초의 침하 또는 간극의 축소로 인해 다짐의 정도가 커지는 효과가 발생함에도 불구하고 어초의 시설 경과 연도와  $k$ 값과의 상관성은 낮았으며 이에 반해 해역의 저질 조건 및 초기 시설 당시의 설치조건에 따라서  $k$ 값이 달라 질수 있음을 알 수 있었다.

**Abstract** – To estimate the status and volume of artificial reefs(ARs) deployed at the sea bottom in fishing grounds, this study assessed the initial volume of ARs, the cubic volume of AR groups, and the porosity of each AR using image data collected during a survey using a multi-beam echo sounder(MBES) and a side scan sonar(SSS). These results were compared with data collected during diver surveys and used to develop a new method and prediction formulas for countermeasures, facility volume, and efficient use of volume for deployed ARs(cubic concrete). The field survey results for nine ARs deployed in the Busan Sea region were calculated, and the average value of coefficient  $k$ (indicating the efficient use of volume ratio) among ARs was 0.753, and the correlation between coefficient  $k$  and year(Yr) of deployment was calculated as  $k=0.0023Yr+0.725$ . The relationship between these two factors was poor. In years following the deployment of artificial reefs, coefficient  $k$  and year of deployment were not correlated, in spite of the hardening ground due to subsidence and the reduced distance between ARs. Consequently, it is reasonable to suppose that coefficient  $k$  was defined by bottom surface conditions and initial deployment conditions.

**Keywords:** Artificial Reefs(사각형 어초), Countermeasures(수량 산정), Efficient Use of Volume(유효공용적), Facility Volume Distribution(시설량 분포)

### 1. 서 론

인공어초(Artificial reef; AR)는 수산자원 증대를 위한 인위적인 수중 구조물로 직접적인 자원증대 외에도 해조장 조성을 통한 자

원증식, 생태계 기능회복을 위한 서식지 확보, 낚시터 개발이나 스포츠레저 다이빙 장소 개발 등 해양레크레이션 여건 조성에도 쓰이는 등 최근에 인공어초의 활용도가 다양해지고 있다(제종길 등, 2003; 카키모토 히로시, 2003).

우리나라 연안에 시설된 인공어초의 종류는 상당부분이 콘크리트 사각형어초이며 그 다음으로는 반구형, 원통형, 잠보형 어초 순

<sup>†</sup>Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

으로 시설되어 있다. 최근 강제어초류와 세라믹어초류 등과 같이 강제 및 세라믹 등의 재료로 제작/시설되고 있다(서성호 등, 2007). 국내 인공어초와 관련된 기존 연구내용을 요약하면 인공어초용 골재 연구(홍종현 등, 2004), 침하에 대한 연구(류청로 등, 1994; 김헌태, 2001; 윤상준 등, 2001), 어초 위집 어류 효과조사(다수의 국립수산과학원 조사보고), 대비군에 의한 자원조성 효과, 투입어초의 보존상태 조사 그리고 인공어초 투입방법에 관한 연구(김승철 등, 2001) 등 여러 분야에서 연구가 진행되어왔다.

인공어초 사업은 막대한 비용이 수반되는 사업으로서 인공어초를 투입하기 전에 미리 그 해역에 대한 해저지질이나 해저지형, 자연초의 유무 등을 고려할 필요가 있다. 이러한 필요성에도 불구하고 인공어초 사업을 실시함에 있어 아직까지 인공어초 투입지역에 대한 충분한 사전조사가 이루어지고 있다고는 보기 어렵고, 인공어초를 바다 속에 투입하는 작업도 과학적이지 못한 부분이 많이 포함되어 있는 것이 현실이다(김승철 등, 2001).

따라서 향후 인공어초 사업의 효율성 향상에 기여하고, 연안어업의 체계적인 관리와 발전을 위하여 기존 투입어초의 분포나 형태를 확인하는 수준의 연구 외에도 기시설된 인공어초 어장에 대한 평가(단위어초에 관한 시설량 및 유효공용적) 및 향후 시설 방법에 대한 재검토가 요구되어 진다(국립수산과학원, 2008).

특히 기 시설된 어초의 해저지반 및 해양외력조건에 의해 유실 및 파손, 매몰된 인공어초 및 향후 기능에 유효한 시설 어초의 개수 산정은 직접적인 잠수 조사를 수행하는 것이 가장 정확한 방법이나 우리나라 모든 연안의 인공어초를 이와 같은 방법으로 조사하는 것은 시간 및 비용의 경제성 및 효율성 측면에서 불가능하고 직접 잠수가 불가능한 수심에 위치하는 인공어초의 평가에도 한계가 따른다.

따라서 본 연구에서는 해저에 시설된 인공어초의 상태 및 수량을 평가함에 있어서 영상자료를 사용하여 단위어초의 부피, 산적어초의 체적 및 공극률을 계산하고 이를 잠수조사 결과와 비교함으로써 단위어초(사각형어초)의 현존 시설량 산정공식의 효율성을 평가한다. 또한 저질 조건 및 산적 형태를 고려한 유효공용적 산정 방식을 제안함으로써 향후 기 시설된 인공어초의 효율적인 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

주요 조사 방법으로는 Fig. 1과 같이 부산연안에 위치하는 총 9 곳의 사각형어초로 조성된 단위어초를 대상으로 DGPS(Differential Global Positioning System)를 이용한 해상위치 결정, 다중빔 음향측심조사(MBES, Multi-Beam Echo Sounder), 양방향음파탐사기 조사(SSS, Side Scan Sonar)를 실시하여 산적 어초의 체적을 산정하였으며, 잠수 조사를 통해 시설량 보정 계수를 추정하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 사각형어초 수량 산정 및 유효공용적 개념

Fig. 2는 해저에 기시설된 사각형어초 수량 산정 및 유효공용적 개념을 정리한 결과이다. 즉, 시설 어초의 유효공용적 계수  $k$  값은 해저 투하 방법 및 저질조건, 산적 형태 및 저질조건에 따른 침하 등 다양한 조건에 따라서 달라질 수 있음을 알 수 있다.

그러나 현재까지 인공어초어장관리사업에서는 어초의 수량 산정에 있어서 특별히 제시된 방법이 없이, 수행기관별로 각자의 계산법(SSS의 이미지를 바탕으로 어초의 개수를 유추하는 방법, MBES의 수심데이터를 사용하여 어초군집의 면적과 높이를 이용하여 추정하는 방법, HypackTM 프로그램을 이용하여 계산하는 방법 등)에 따라 계산하였다. 기존 김진호 등(2006)은 사각형어초의 실제적을 산출 계수( $k$ ) 값은 일반적으로 0.8이나 이는 아직까지도 많은 논란의 소지가 있으며, 사각형어초 5개를 투하한 직후  $k$ 값을 계산해 본 결과(0.79에서 0.86의 범위의 평균치가 0.834임을 제안한 바 있다.

그러나 기존 사용 방법들은 너무 추상적이거나 개인적인 관점에 따라서 수량의 차이가 많다는 단점이 있다. 특히, Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 어초 부피 계산에 중대한 영향을 미치는 어초 높이 계산에 있어서 지반 기준을 어초 매몰깊이를 고려하느냐 안하느냐에 따라 어초의 수량을 산정하는 데이터에서 부정확성을 크게 만든다.

인공어초는 어초 투하후 시간경과에 따른 침하 및 세굴 현상이 발생하기 때문에 이에 따른  $k$ 값의 시간적 변화를 고려할 필요가 있으며, 각 단위어초의 산적형태 및 층적수, 저질조건에 따른 침하여

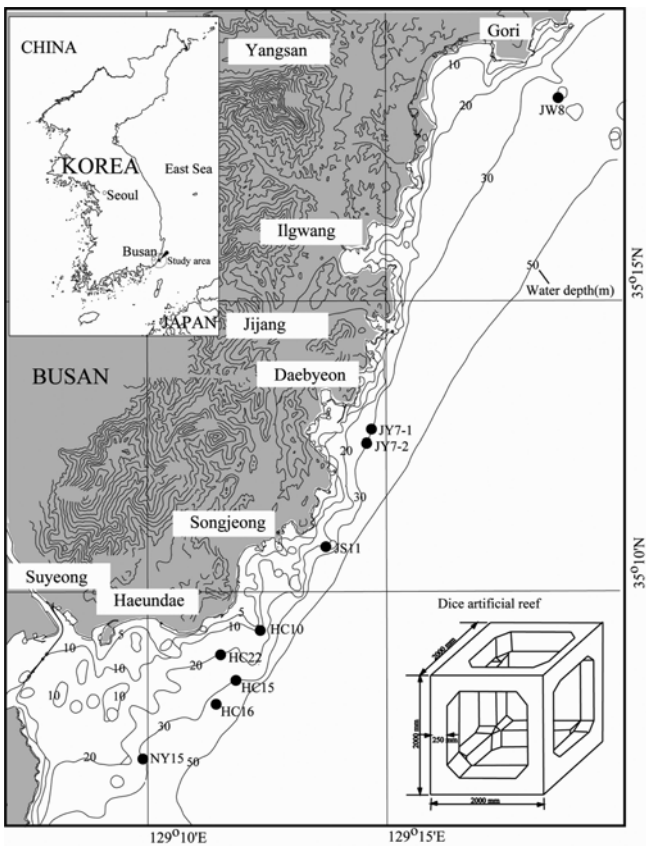


Fig. 1. A map of the general survey area in which the experimental reefs were located. The two digit alphabets in survey locations indicate the installation area of artificial concrete reef, and the numbers the ages after installation.

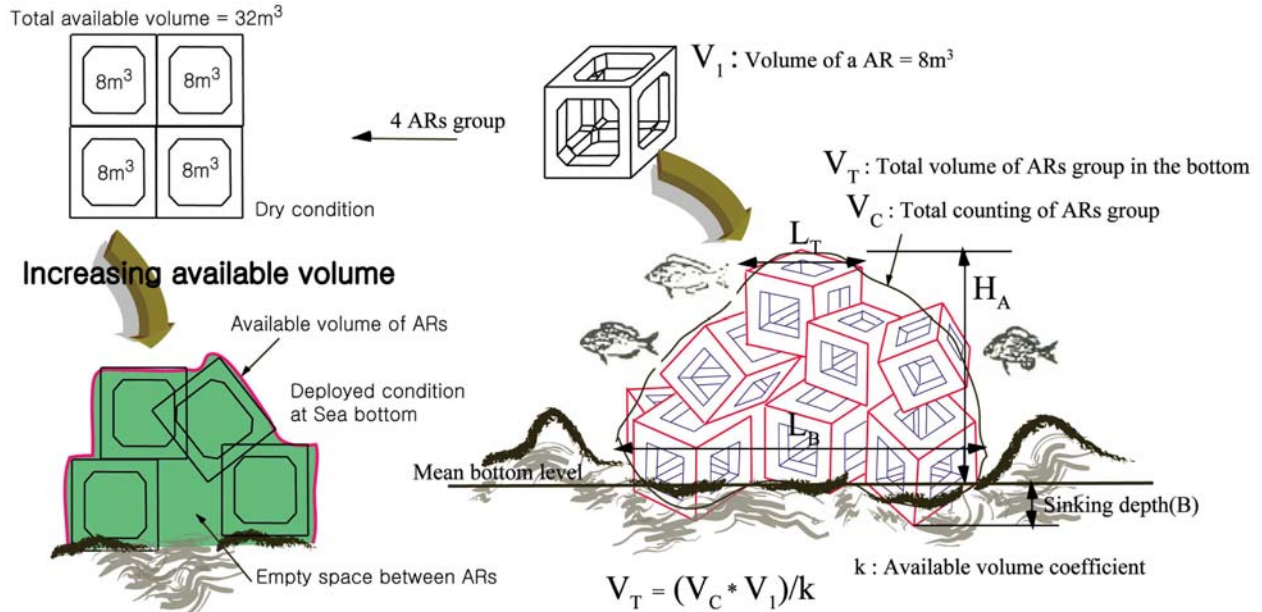


Fig. 2. Conceptual images/definition of deployed artificial reefs used to estimate the available volume of the group of artificial reefs.

부가 반드시 고려되어야 한다. 한편, 어초를 이용하여 조성한 어장의 기능성을 평가하기 위한 공학적 특성치에 있어서 체적을 계산해서 도출하는 실제적용의 개념보다는 상술한 조건을 고려한 유효공용적 개념이 단위어초의 어장 기능을 보다 정량적으로 평가할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

### 2.2 대상 단위어초 선정 및 위치

연구에 사용된 단위어초는 Fig. 1의 부산권 동부해역(남구 용호~기장 고리)에서 ●로 표기된 총 9개 단위어초이다. 단위어초의 표기 중 두자리의 알파벳은 시설 지역을, 숫자는 시설된 년도로부터 현재까지의 경과 연도를 의미한다. 이들 단위어초들에 대한 세부 시설 내역은 Table 1에 제시된 바와 같다. 대체적으로 해운대 청사포 주변해역에 시설된 단위어초는 시설후 약 10년~22년, 기장군 해역의 어초는 7~8년이 경과된 어초들이다. 산적 단수는 HC15를 제외하고 모두 3단으로 산적되어져 있으며 HC22는 분산, 그 외 나머지 단위어초는 집중되어 산적된 상태이다.

대체적으로 이들 단위어초의 시설상태가 주변의 다른 단위어초

와 비교하였을 때 양호하였으며 어초 갯수를 셀 수 있는 최소한의 시야가 확보되므로 이 지역을 대상 해역으로 선정하였다.

### 2.3 MBES와 SSS 현장조사 방법

상술한 대상 단위어초에 대해서 현장조사로서 DGPS를 이용한 해상위치 결정, MBES, SSS 조사를 실시하였다.

먼저 MBES조사는 송수파기, DGPS, Gyro Sensor, SVP, Motion Sensor 및 Workstation PC로 시스템이 구성된다. 조사시 소나헤드(Sonar Head)의 움직임을 최소화하도록 장치를 고안하였으며, 선박의 중앙에 해당하는 임의의 점인 기준점(Reference Position)에서 획득된 오프셋(Offset) 값을 멀티빔 음향 측심 자료를 취득하는 NaviPac과 NaviScan 프로그램에 입력하여 선박의 거동을 정확하게 반영하였다. 또한 MBES 자료 취득시 최외각 빔의 수심자료가 신뢰성이 떨어지므로 150% 이상 중첩율을 가질 수 있도록 조사 측선을 설계하였다. 음속도 측정기(Sound Velocity Profiler, SVP 15)를 이용하여 1일 2~3회 이상씩 음속 단면을 취득하여 음속도 보정을 실시하였으며, 조석관측은 인접 검조소 자료를 이용하여 조위

Table 1. Information of the surveyed artificial concrete reefs

Identity	Installation		Area (ha)	AR (EA)	Coordinate of AR (WGS-84)	Water Depth(m)		Bottom condition	Deployed condition	
	Location	Year				Bottom	Top		Type	Layer
HC22	Haeundae Chengsapo	1987	16	100	35°08.786'N 129°11.459'E	27.1	21.6	Gravel	Dispersion	3
HC16	Haeundae Chengsapo	1993	16	100	35°08.504'N 129°11.741'E	31.2	28.4	Sandy mud	Concentration	3
NY15	Namgu Yongho	1994	16	100	35°07.107'N 129°09.979'E	35.3	32.3	Muddy sand	Concentration	3
HC15	Haeundae Chengsapo	1999	16	100	35°08.560'N 129°12.040'E	31.6	25.2	Sand, Rock	Concentration	2
HC10	Haeundae Chengsapo	1999	16	100	35°09.232'N 129°12.324'E	28.3	23.3	Gravel	Concentration	3
JS11	Jijang Silangri	1998	16	100	35°10.704'N 129°13.698'E	30.2	25.7	Mud	Concentration	3
JW8	Jijang Wolnae	2001	16	85	35°18.504'N 129°18.622'E	36.8	31.9	Mud	Concentration	3
JY7-1	Jijang Yeonwha	2002	16	100	35°12.820'N 129°14.854'E	34.5	30.1	Muddy sand	Concentration	3
JY7-2	Jijang Yeonwha	2002	16	95	35°12.484'N 129°14.740'E	36.0	32.3	Muddy sand	Concentration	3

경정을 실시하였다.

획득된 MBES 자료는 덴마크 EIVA사에서 제작한 NaviPac, NaviScan, NaviEdit, NaviModel, NaviPlot 프로그램, 미국 Golden Software사의 Surfer 8.0 그리고 캐나다 IVS사의 Fledermaus 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. 자료처리 순서는 오프셋 보정을 실시하고 이후 음속도 보정, 롤(Roll), 피치(Pitch), 상하운동(Heaving) 보정, 조위 보정, 오측자료 제거 등의 순서로 처리하였다. 이와 같은 1차 보정 이후 XYZ Format으로 자료를 추출하였으며, XYZ 수십 자료를 이용하여 전체 해역 및 어초 단지별 해저 지형 및 어초 형상을 도시하였다. 이 자료를 이용하여 단위어초의 중심위치, 천소수심, 주변해역 수심을 산출하였다.

다음으로 SSS 조사는 MBES 조사를 통하여 얻어진 어초시설의 위치 정보를 이용하여 인공어초에 대한 SSS의 영상을 획득, 어초의 시설상태를 파악하였다. 인공어초의 2차원 영상을 획득하기 위한 SSS 조사 자료 취득 및 처리 흐름은 크게 사전작업(Pre-Processing Work), 현장조사작업(Main Processing Work)으로 나눌 수 있다. 먼저 사전작업으로는 MBES 조사 결과자료(어초의 위치, 수심, 종류 등)를 분석하여 조사계획을 수립한다. 이 때 가장 이상적인 인공어초 영상을 얻기 위한 SSS 주사폭과 조사선박의 선속을 결정한다. 이후 인공어초의 분포 범위를 감안하여 조사측선을 인공어초의 중심위치와 일정 간격을 두고 배치하여 최종 조사 예정 항로를 결정한다. 또한 현장 실행조사 작업(Main Processing Work)은 조사선에 각 장비를 탑재하고 Towfish는 Deck Unit를 통하여 제어하며, 실시간으로 수면 아래에서 음파를 송수신하여 인공어초의 영상을 획득한다. 최적의 인공어초 영상을 취득하기 위하여 주사폭은 75 m로 설정하였으며, 시설수심에 따라 견인체의 깊이를 조절하여 자료를 취득하였다.

현장조사 작업에서 취득된 인공어초 2차원 평면 영상에 대하여 필터링(Filtering: TVG)과 경사거리 보정(Slant Range Correction) 등의 후처리 과정을 실시하였다. 인공어초 자료처리 및 시설상태 파악에 이용하도록 인공어초 영상을 그림과일로 변환하였다. 또한 인공어초의 영상을 확인할 때마다 그 중심위치와 경계의 좌표를 확인하여 수치해도에서 MBES의 최종 위치 자료와 비교, 검측하여 자료의 신뢰성을 높이도록 하였다. 또한 인공어초 영상에 방위각 정보(나침반)를 삽입하여 분포방향을 알 수 있도록 하였다.

#### 2.4 단위어초의 부피 산정 및 잠수조사

인공어초의 수량은 SSS조사와 MBES조사 결과를 이용하여 산정하였다. 먼저, 해저에 평면분산되어 시설되어 있는 경우 SSS 조사 결과에 나타난 어초의 수량을 대략적으로 계수하여 수량을 산정하였다. 또한 사각형어초와 같이 집중되어 산적되어 있는 경우에 있어서는 MBES에서 취득된 수십자료를 Surfer 프로그램을 이용하여 3차원으로 가시화한 후 어초의 최외각 경계를 디지털화(Digitize)하여 어초부분의 자료를 추출, 산정하였다. 이 때 어초 주위의 수심 경사와 어초의 시설상태, 시설수량, 시설년도 등의 자료를 종합

적으로 감안하여 어초의 수량을 계산할 때 참조가 될 수 있도록 하였다.

부피산정 방법은 심프슨 3/8 법칙을 이용하였다. 이 방법은 적분의 근사계산을 이용하는 것으로 사다리꼴이나 직사각형으로 근사하지 않고 실제 모양과 비슷한 형태의 2차 함수로 근사하여 계산하는 방법이다. 산정된 부피는 어초단체의 공용적으로 나누어 수량을 산정하였으며, 부피로 계산된 수량과 실제수량과의 차이를 보정하기 위하여 잠수 조사를 실시하였다. 잠수사가 현장에서 계수한 수량과 부피로 산정된 수량의 차이를 나타내는 보정상수인 k를 결정하였다.

일반적으로 사각형어초는 Fig. 2에서 알수 있듯이 정육면체의 테구조이므로 산적 후 모서리 부분이 내부 공간으로 겹쳐져 사각형어초의 공간체적의 합보다 줄어들기도 한다. 또한 산적되면서 어초와 어초 사이에 간극이 발생하여 전체 부피가 증가하게 된다. 기존 인공어초 조사를 통해 산적된 어초의 체적과 어초의 수량 사이의 관계가 파악되면서 사각형어초의 테구조로 인하여 줄어드는 부피보다는 어초 사이의 간극이 더 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 어초의 수량을 산정할 때에는 사각형어초들의 간극으로 발생하는 공극률을 실험적으로 계산할 필요성이 있다.

#### 2.5 유효공용적 산정 공식 제안

인공어초를 이용하여 어초어장을 조성하는 경우에는 인공어초 각 부재가 만들어 내는 일정한 공간 용적을 필요로 한다. 이러한 공간 용적을 공용적이라 하며 어초어장을 조성함에 있어서 인공어초의 표준시설량을 결정하는 기준이며 우리나라 800 m<sup>3</sup>의 공용적을 기준으로 시설하여 왔다. 이 정도의 규모는 사각형어초의 경우 100개가 필요한 양이다. 처음 시설하는 대부분의 단위어초는 공용적 800 m<sup>3</sup>의 규모로 시설되어 있다. 따라서 조사대상 단위어초에 대한 현재의 유효공용적을 산정하는 것은 공학적인 측면에서 가장 기본적인 사항인 것이다.

단위어초가 조성된 후 조사 시점의 공간 용적을 평가하기 위하여 사각형어초의 경우 표준 시설량 800 m<sup>3</sup>(100개)에 대하여 검토대상 단위어초의 집단 산적된 어초단체의 수량비를 표준어초시설율(%),  $S_r$ : Ratio of standard demand AR)로 계수화하였고, 집단 산적된 검토대상 단위어초의 최하단 어초의 침하 매몰된 공간을 배제한 것을 공용적유지율(%),  $V_r$ : Ratio of efficient maintenance volume of AR)로 계산하였다. 이들 표준어초시설율과 공용적유지율을 함께 고려하여 유효공용적율(%),  $V_e$ : Ratio of efficient use of volume of AR)을 계산하였다.

여기서 각 단위어초의 시설형태에 따라 집중산적인 경우 표준어초시설량의 40%가 하단에 있을 것으로 가정하였으며 집중평면인 경우는 60%, 분산시설인 경우는 80%가 해저면과 접하고 있는 것으로 가정하였다. 이러한 사항을 모두 고려한 유효공용적율(%)은 아래의 식과 같이 계산된다(국립수산과학원, 2008).

$$V_e = \{1 - (A_L/A_T) + A_L/A_T \times (1 - B_d)\} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $V_e$ 는 유효공용적율(%),  $A_L$ 은 단위어초의 하단 어초 수량,

$A_i$ 는 이탈 및 파손 등을 제외한 단위어초의 어초수량,  $B_i$ 는 하단어초 높이에 대한 매몰깊이의 비를 나타내고 있다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 대상 단위어초의 영상획득 결과

SSS 및 MBES조사를 통해 대상 단위어초들에 대한 영상을 획득하였다. Fig. 3은 대표적으로 해운대 청사포(HC16)와 남구 용호(NY15) 해역에서의 영상 획득 결과 및 단위어초의 체적을 산출한 결과를 나타내고 있다.

해운대 청사포(HC16)의 경우 적분의 근사계산을 이용하여 체적을 산정한 결과 1,023 m<sup>3</sup>, 남구 용호(NY15) 해역의 경우 974(이탈 분포하는 어초를 포함하는 경우 1,005) m<sup>3</sup>로 산정되었다. 또한 영상에서 일부 어초가 집중산적되어 있지 않고 일부 이탈해 있는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 잠수 조사를 통한 시설량 평가

대상 단위어초의 시설량 추정을 위한 직접적인 조사방법으로 scuba 잠수를 통해 사각형어초의 수량을 각각 3회씩 계수 확인한 후 각 단위어초별로 평균값을 계산하였고 또한 양방향음파탐사기의 영상 분석을 통해 이탈된 사각형어초를 확인하였다. 그 결과는 Table 2에 나타난 바와 같다. 즉, HC22에서 1개, NY15에서 5개, JW8에서 2개, JY7-1에서 1개가 이탈해 있는 것으로 조사되었다.

#### 3.3 단위어초의 실제적용 변화 특성

실체적용 k 값은 MBES에 의한 사각형어초의 체적 값이 각 단위어초의 산적 형태에 따른 특징으로 볼 수 있다. 또한 어초와 해저면의 경계부분을 어떻게 결정하는가에 따라 체적에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 본 연구에서는 상술한 조사 결과를 바탕으로 각 연구 대상 단위어초에 대해서 k값을 계산하여 Table 2에 제시하였다. 총 9개 단위어초의 k값 범위는 0.73~0.78(평균치는 0.753)의 범

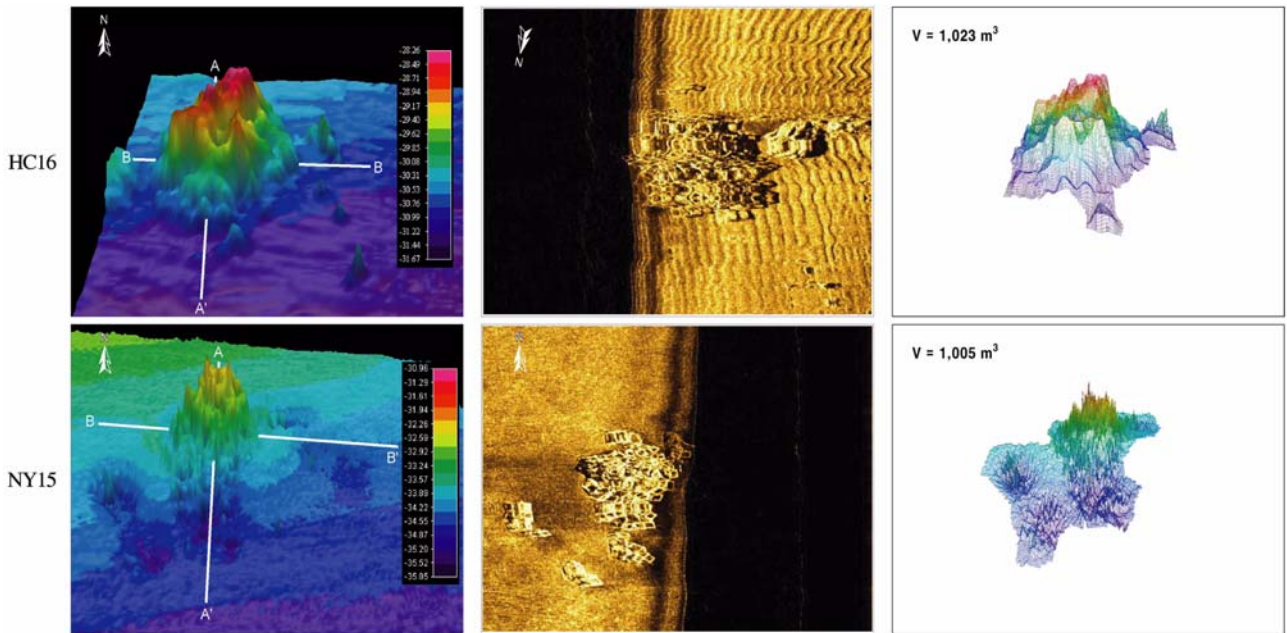


Fig. 3. Sonar image of artificial reefs (left: Multi Beam Echo Sounder, Center: Side Scan Sonar, right: resulting images and estimated volume of artificial reefs).

Table 2. Results for the surveyed artificial concrete reefs.

Identity	Volume of AR by MBES (m <sup>3</sup> )	Counting of AR by diver (EA)	Counting of breakaway AR by SSS image (EA)	Counting of ARs group (EA)	Sinking depth (m)	k value	$S_d$ (%)	$V_u$ (%)	$V_e$ (%)
HC22	1,044	99	1	100	0.1	0.76	85	96	82
HC16	1,023	100	0	100	0.5	0.78	100	90	90
NY15	974(1005)	100	5	95	1.0	0.78	95	80	75
HC15	1,086	100	0	100	0.0	0.74	95	96	91
HC10	1,049	100	0	100	0.1	0.76	100	98	98
JS11	1,057	100	0	100	1.0	0.76	100	98	98
JW8	898.6	84	2	82	1.0	0.73	80	80	64
JY7-1	1,052.1	97	1	96	0.3	0.73	95	94	89
JY7-2	997.3	91	0	91	0.0	0.73	90	100	90

$S_d$ : Ratio of standard demand AR,  $V_u$ : Ratio of efficient maintenance volume of AR,  $V_e$ : Ratio of efficient using volume of AR

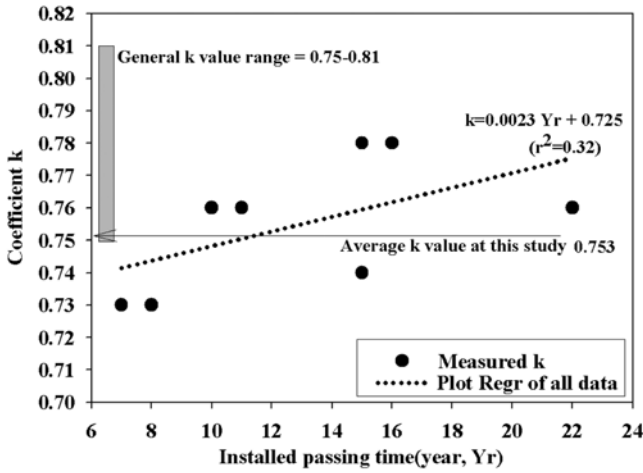


Fig. 4. Relationship between number of years since installment and coefficient k on the efficient use of artificial reef volume.

위에 포함되는 것으로 나타났다.

본 연구에서 어초의 시설 경과 연도와 k값과의 상관성을 살펴보고자 Fig. 4와 같이 나타내었다. 그림에서 살펴보면 연구 대상 총 9개 단위어초의 실제적용 k값과 시설경과년수(Yr)와의 상관식은  $k=0.0023Yr+0.725$ 로 추정되었다. 그러나 상관계수가 0.32로 매우 떨어지는 값을 나타내었는데 이는 결과적으로 시설 경과 년수와 k 값은 상관성이 매우 낮음을 나타낸다. 즉, 인공어초를 설치한 후 시간의 경과에 따라 일반적으로 산적되어진 어초의 침하 또는 간극의 축소로 인해 다짐의 정도가 커지는 경우로 발생하는 과정을 예측하였으나, 이들 결과는 해역의 저질 조건 및 초기 시설 당시의 설치조건 등이 유효공용적의 감소를 초래한 것으로 판단된다.

3.4 유효공용적 산정 결과

연구 대상 총 9개의 단위어초에 대해서 각 어초별 유효공용적 ( $V_u$ , %)을 산출한 결과는 Table 2에 제시한 바와 같다. 현재 표준시설량의 공용적 대비 유효공용적율은 80~100%를 유지하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 유효공용적율이 낮은 JW8의 경우 시설당시 표준 시설량보다 적게 시설되었거나 저질조건을 고려하여 침하에 대해서 적절히 시설하지 못한 경우에 해당한다고 판단된다. 이상의 결과를 도식화하면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있는데 이는 표준어초 시설량에 대한 공용적유지율 및 유효공용적율의 분포특성을 나타낸 것이다. 결과적으로 대상 단위어초 모두에서 표준 시설량이 낮은 시설율을 보이는 것으로 나타나 시설후 유효공용적은 대체로 감소하는 패턴을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 인공어초의 이탈 및 침하 등이 지속적으로 발생하고 있음을 의미한다.

또한 Fig. 6은 어초의 시설 경과 연도와 공용적유지율( $V_u$ )과의 상관성을 살펴보고자 나타내었다. 이는 본 연구에서 사용된 총 9개의 사각형어초로 구성된 단위어초에 대해서 연도별 시설물의 경과에 따라서 시설량의 변동 여부를 평가하기 위한 것이다. 그림에서 살펴보면 결과적으로 어초의 시설후 시간 변화에 따라서 공용적유지

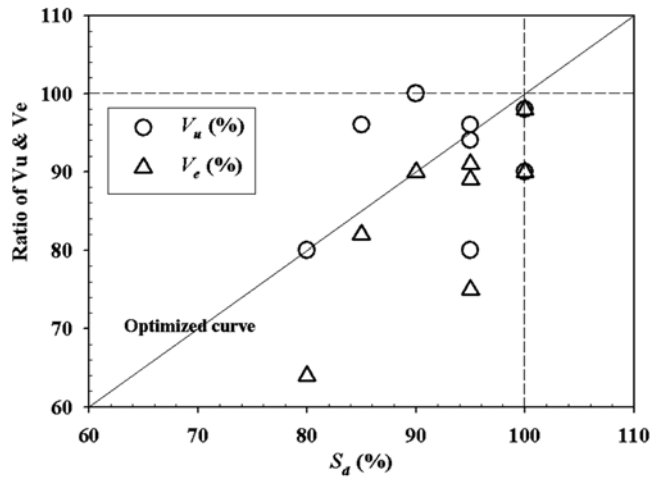


Fig. 5.  $S_d \sim V_u$  and (Relationship between the ratio of standard demand for artificial reefs, efficient maintenance volume, and efficient use of artificial reef volume).

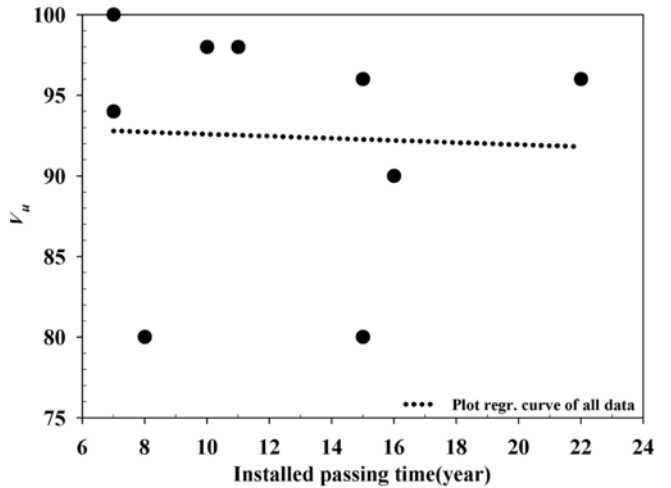


Fig. 6. Relationship between number of years since installment and efficient maintenance volume of AR.

율의 변화는 뚜렷한 특징을 나타내지 않았다.

따라서 이상의 결과에서 알 수 있듯이 어초의 시설 수량으로 어초어장의 이용가능 시설량을 결정하는 것은 현실적으로 비합리적이며 단위어초의 유효공용적율을 유지하면서 어초어장의 기능을 유지하기 위해서는 인공어초 투하시 저질조건 등을 고려한 충분한 사전조사 및 정밀 시공이 필요하다는 것을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 해저에 시설된 인공어초의 상태 및 수량을 평가함에 있어서 영상자료를 사용하여 단위어초의 부피, 산적 어초의 체적 및 공극률을 계산하고 이를 잠수조사 결과와 비교함으로써 단위어초(사각형어초)의 현존 시설량 산정공식의 효율성을 평가한다. 또한 저질 조건 및 산적 형태를 고려한 유효공용적 산정 방식을 제

안함으로써 향후 기 시설된 인공어초의 효율적인 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

본 연구를 통해 획득되어진 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 부산연안에 위치하는 총 9곳의 사각형어초로 조성된 단위어초를 대상으로 산적 어초의 시설 현황을 살펴본 결과, 일부 어초가 집중산적되어 있지 않고 소수 이탈해 있는 것을 알 수 있다.

2. 대상 연구 단위어초의 k값의 범위는 0.73~0.78(평균치는 0.753)의 범위에 포함되는 것으로 나타났으며, 실제적용 k값과 시설경과년수(Yr)와의 상관식은  $k=0.0023Yr+0.725$ 로 추정되었으나, 상관계수가 0.32로 매우 낮아 시설 경과 년수와 k값은 상관성이 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 어초 시설후 시간 변화에 따라서 공용적 유지율의 변화는 뚜렷한 특징을 나타내지 않았다.

3. 연구 대상 단위어초에 대해서 각 어초별 현재 표준시설량의 공용적 대비 유효공용적율은 80~100%를 유지하고 있는 것으로 조사되는데, 유효공용적율이 낮은 경우는 표준 시설량보다 적게 시설되었거나 저질조건을 고려하여 침하에 대해서 적절히 시설하지 못한 경우로 판단된다.

4. 이상의 결과를 통해 표준어초시설량으로서 어초어장의 이용 가능 시설량을 결정하는 것은 현실적으로 비합리적이며 단위어초의 유효공용적율을 유지하면서 어초어장의 기능을 유지하기 위해서는 인공어초 투하시 저질조건 등을 고려한 충분한 사전조사 및 정밀 시공이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 국립수산과학원(인공어초 개발 및 효과조사, RP-2009-RE-03) 및 부산광역시(어초어장관리조사사업)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 국립수산과학원, 2008, 2007년 부산광역시 인공어초어장관리 조사보고서, 291pp.
- [2] 김승철, 신현욱, 2001, 자란만의 해저지형 및 인공어초의 분포 조사 연구, 한국수산학회, 제37권, 제3호, pp 214-222.
- [3] 김진호, 유재근, 홍준표, 손팔원, 최낙중, 김병균, 최용석, 2006, 사각형 인공어초의 실제적용 및 개수산정에 관한 연구, 한국마린에너지학회 전기학술대회 논문집, pp.211-212.
- [4] 김현태, 2001, 비정상 흐름장의 인공어초 침하특성에 관한 실험적 연구, 한국해양공학회지, 제15권, 제2호, pp.33-38.
- [5] 류청로, 류연선, 신현욱, 1994, 해양목장화를 위한 적정어초 및 설계기술 개발, 수산청, RCOID 931-1213-06-1, 276pp.
- [6] 서성호, 이영권, 이익효, 김대권, 2007, 강제어초의 효율성에 관한 현장조사, 한국해양공학회지, 제21권, 제5호, pp.61-67.
- [7] 윤상준, 김현태, 2001, 비정상 흐름-파랑 공존장의 인공어초 침하특성에 관한 연구, 한국해양공학회지, 제15권, 제3호, pp.28-34.
- [8] 이정우, 2000, 인공어초시설사업의 향후 정책방향, 한국양식학회, 한국양식, 제12권, 제1호, pp.35-76.
- [9] 제종길, 이형곤, 신상호, 2003, 경기도 연안 인공어초의 수중 관찰, 한국수중과학기술, pp.9-26.
- [10] 카키모토 히로시, 2003, 외국의 인공어초, 한국수중과학기술 논문집, pp.37-47.
- [11] 홍종현, 김문훈, 우광성, 고성현, 2004, 인공어초용 재생골재 콘크리트의 최적 배합설계 모델, 한국해양공학회지, 제18권, 제1호, pp.53-62.

2009년 6월 12일 원고접수

2009년 7월 6일 심사완료

2009년 8월 18일 수정본 채택