한국해양공학회지 제21권 제5호, pp 61-67, 2007년 10월 (ISSN 1225-0767)

강제어초의 효율성에 관한 현장조사

서성호* · 이영권** · 이익효*** · 김대권****
*국립수산과학원 남해수산연구소
**국립수산과학원 바다목장사업단
***전남대학교 건설환경공학부
****국립수산과학원 동해수산연구소

Field Investigation on the Efficiency of the Artificial Steel Reefs

SEONG-HO SEO*, YOUNG KWEON LEE**, IK-HYO LEE** AND DAE-KWON KIM***

*South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu, Korea
**Marine Ranching Research and Development Institute, NFRDI, Busan, Korea
***Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam Uni., Yeosu, Korea
****East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung, Korea

KEY WORDS: Artificial reef 인공어초, Artificial steel reef 강제어초, Scouring 세굴, Subsidence 침하, Fish assemblages 어류위집

ABSTRACT: *As part of the government's fishery resource creation policy, fishing ground creation projects have been undertaken in Korea's major seashore fishing spots since the 1970s, where artificial reefs constructed using new materials that make up for the weakness of concrete reefs have been used. In this study, the stability of these artificial reefs when acted upon by external forces, their ability to attract and gather fish, and their economic feasibility were examined. For this purpose, an experimental artificial steel reef was constructed and was installed in an area of the sea. Then the corrosion of the experimental material attached to it was investigated. The efficiency of the artificial steel reef was then verified by examining its functionality, removal, and burying, as well as the speed of insertion of living things into its structure and its ability to attract and gather fish.*

1. 서 론

연안수역은 풍부한 수산자원이 존재하지만, 최근 들어 연안수역의 매립 및 간척 등으로 인한 어장 축소와 공장폐수 및 생활하수 등의 오염원 증가로 수산생물의 생산량이 점차 감소하고 있다. 이의 해결방안으로 수산자원의 생산량 증대와 인위적인 산란장 및 서식장을 조성하는 인공어초사업이 진행되고 있다.

국내의 인공어초사업은 1971년부터 1997년까지 26년 동안 총 시설면적 123,432ha에 시설비 3,263억원으로 833,486개의 인공어초를 투입하였으며, 1997년과 1998년에 그 중요성이 고조되어 연간 약 600억의 막대한 예산을 투자함으로서 사업규모가 방대할 뿐만 아니라 시설 자체에 대한 막대한 경비를 필요로 하지만, 사업 효과는 인공어초 투입 후 즉시 나타나는 것이 아니라 일정시간이 경과한 후 서서히 나타난다는 특징을 가지고 있다.

인공어초 시설사업은 주로 정부투자 사업의 일환으로 전국 연안에 시설되었다. 시설된 인공어초의 종류로는 상당부분이 콘크리트 사각어초로 시설되었고 그 다음으로 반구형, 원통형, 잠보형 순으로 시설되었다. 최근에는 강제어초와 세라믹어초 등의 여러 가지 종류의 재료로 제작되고 있다. 국내에서는 1970년대에 들어서면서 수산자원 조성시책의 일환으로 우리나라 주요 연안어장에 인공어초 어장 조성사업이 시행되어 왔다. 설치된 인공어초는 철근콘크리트로 제작된 해저구조물로서, 연안어장의 보호 및 어획자원의 증대에 기여하고 있는 것으로 알려지고 있다(국립수산진흥원, 1976). 인공어초에 대한 인공어초용 골재에 관한 연구는 홍종현 등(2003; 2004), 침하에 관한 연구는 류청로와 김현주(1994), 김헌태(2001), 윤상준과 김헌태(2001), 조사보고로는 국립수산진흥원(1976), 손태준 등(1977), 현봉재 등(1979), 서학근 등(1982), 국립여수대학교 수산과학연구소(1998), 이익효(1998) 외 다수의 조사보고가 있다. 이들 연구는 어초 효과를 조사한 것으로서 어초에 위집하는 어류조사, 대비군에 의한 자원조성 효과 비교 및 투입어초의 보존상태 조사 그리고 인공어초의 투입방법에 관한 연구 등으로 철근콘크리트로 제작된 인공어초에 대한 조사가 대부분을 차지하고 있다.

국외에서는 새로운 재료를 이용한 인공어초에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 그 결과 철근콘크리트의 여러 가지 문제점들을 보완할 수 있는 강재를 이용한 어초 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 1960년에는 일본의 도근현 수산시험장에서 강판재 상자형 어초를 설치, 연구를 시작하여 1962년에 철강회사들에 의해 시험제작 되어진 강제어초를 처음으로 실해역에 설치하였

교신저자 서성호: 전남 여수시 화양면 안포리 347
061-690-8985 shseo@momaf.go.kr

다. 1976년부터 본격적으로 개발 · 실용화하였으며 1978년에 강제어초의 설계에 대한 지침을 제정하였고, 1980년 후반에는 본격적으로 강제어초의 제품화 · 보급화에 도달하고 있다. 이와 더불어 인공어초에 관한 실제적인 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 전라남도 해역에 설치된 기존의 콘크리트 어초에 대하여 조사를 실시한 후 콘크리트 어초의 문제점을 파악하여, 이를 보완할 수 있는 새로운 재료, 즉 강재를 이용한 어초 개발에 그 목표를 두고 강제시험어초를 제작하여 대상해역에 시설하였다. 강제시험어초에 부착된 시험재에 의한 강재의 부식상황 조사와 인공어초의 기능성에 관한 세굴 및 매몰의 발생상황, 부착생물의 착생속도 및 어류의 위집효과 등에 대한 조사를 실시하였다.

2. 콘크리트어초의 현지조사

2.1 조사장소

1992년부터 1996년까지 5년 동안 전라남도 해역에 설치되어진 콘크리트어초에 대한 조사는 1997년 12월부터 1998년 12월까지 1년에 걸쳐 어초의 보전 상태 및 효과에 대해 조사하였다. 조사를 실시한 해역은 1992년부터 1996년까지 5년 동안 전라남도 연안 해역에 시설한 10개 해역이다. 구체적인 해역으로서는 1992년 여천 화정 적금 해역, 1993년 완도 청산 대모도 해역, 1994년 고흥 풍양 풍납 해역, 1995년 고흥 도양 시산 해역, 진도 의신 접도 해역, 신안 신의 목넘 해역, 1996년 여천 화양 백야 해역, 고흥 도양 시산 해역, 완도 청산 대모도 해역, 진도 의신 접도 해역이다. 어초 대부분이 해도상에 표시된 어초 설치 구역 내에 위치하지만, 해도상에 표시되어진 구역은 실제로 아주 넓은 해역으로서 그 구역에 어초가 균등하게 분산, 설치되어진 것은 아니고, 특정 지역에 집중적으로 시설한 경우가 많으며, 시간이 지남에 따라서 유실되거나 침하된 어초가 존재하였다. 따라서 본 연구 조사에서는 GPS(Global positioning system) 및 어군 탐지기를 이용하여 시설된 인공어초의 정확한 지점을 찾아서 집중적으로 조사하였다.

2.2 조사방법

콘크리트어초 한 개의 크기는 어초의 시설면적에 비교할 때 매우 미소하기 때문에 투하해역에서 콘크리트어초를 찾아내는 것은 어려움이 많다. 먼저 GPS 중에서 Sound GPS MAP 135를 이용하여 콘크리트어초의 투하위치를 확인하고, 어군탐지기를 이용하여 예상 시설지점을 격자형으로 항해하면서 콘크리트어초의 시설지점을 관측하였다. 관측 도중 어군탐지기에 어초로 추정되는 물체가 관측되면 잠수부가 잠수하여 콘크리트어초를 확인하는 방법을 이용하였다.

각 해역의 콘크리트어초 시설에 대한 보존상태 조사는 잠수사의 잠수에 의한 직접관찰과 SONY VX-1000 PRO 수중 비디오 카메라 촬영에 의한 콘크리트 어초 시설의 파손상태와 매몰 여부 등에 대해 조사하였다.

3. 강제어초

3.1 강제어초의 특징

강제어초는 그 특성에 따라 강제의 형상에 따른 특징과 생물학적 특징으로 나누어 볼 수 있다. 먼저 형상에 따른 특징을 보면 강제를 이용하여 인공어초를 설계 · 제작함으로서 콘크리트 어초에 비하여 강도가 우수하여 실해역으로 운반 및 시설시에 발생될 수 있는 파손의 위험을 줄일 수 있으며, 콘크리트에 비하여 성형성이 뛰어나 시설해역의 조건에 맞는 구조로 제작하기 쉽다. 강제어초는 재료의 강도가 다른 재료에 비하여 크기 때문에 인공어초를 대형으로 설계 · 제작할 수 있으므로 대수심에 적용하여 표 · 중층성 어류에 대한 위집효과를 높일 수 있다. 대형어초의 제작이 가능하여 내부공간을 크게 취할 수 있기 때문에 어류의 생식공간이 커진다. 가공성 또한 뛰어나므로 복잡한 구조 · 형상으로 제작이 가능하여 저층성어의 위집에 알맞은 서식환경을 제공할 수 있다. 가공부재의 운반이 용이하여 품질관리 상황이 좋은 공장 제작이 가능하여 설치현장에서 조립하여 시설할 수 있으므로 시공 공정이 짧아진다. 형상의 설계 · 제작시에 다른 재료 및 구조물과의 복합화가 비교적 쉽게 이루어지므로 어법 · 어장해역 조건에서의 적응성이 우수하다. 강재표면은 해중생물과의 친화성이 우수하며, 조기에 어류의 이료생물들이 서식하게 되고, 부착생물의 착생이 단기간 내에 이루어지므로 어류의 위집효과가 상당히 양호하다. 또한, 강제어초는 어초 저부에 중추용 콘크리트나 강편을 설치하여 중심을 낮출 수 있어서 수평외력에 대한 안정성이 좋고, 매몰 및 전도를 방지할 수 있는 구조가 가능하다. 콘크리트 어초 제작시에 필요한 거푸집 비용 및 양생기간이 필요 없다.

생물학적 특징으로서 강재표면에서 생산되는 철이온이 식물성 플랑크톤 증식의 필수 영양분으로서 계속 공급되므로 양호한 식물군 환경을 제공하여 해조류의 생식을 돕기 때문에 이료생물의 증식기능에 도움이 된다((사)강재구악부 강제어초시설위원회, 1996). 콘크리트 어초에 착생되는 부착생물의 부착속도에 비하여 강제표면의 부착속도 약 3개월~6개월 정도로서 비교적 단기간 내에 부착생물이 착생된다.

3.2 강제어초의 설계

강제어초 설계에 필요한 해역조건은 다음의 5가지이며, 이러한 조건에 의해 인공어초의 활동, 전도 및 침하 등 인공어초의 기능유지를 위한 안정성 검토가 수행되어야 한다.

파랑특성은 파고 및 주기에 의해 정의되며, 파고를 산정하기 위하여 천수변형, 쇄파에 의한 변형, 회절, 굴절 및 반사에 의한 변형을 고려하여 식 (1)과 식 (2)를 사용한다. 주기에 대해서는 충파주기를 사용한다.

$$H=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_i(K_{ri}\cdot K_{di}\cdot K_{fi})^2}\cdot K_s\cdot K_b\cdot H_o \quad (1)$$

$$H'_o=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} D_i(K_{ri}\cdot K_{di})^2}\cdot H_o \quad (2)$$

여기서, H'_o는 환산충파파고, H는 구조물 설치해역의 파고, K_s

는 파의 천수계수, K_b는 쇄파변형계수, D_i는 방향별 에너지 분포율, K_{ri}는 방향별 성분파의 굴절계수, K_{di}는 방향별 성분파의 회절계수, K_{fi}는 방향별 성분의 해저마찰계수, n은 방향 분할 수, H_o는 충파파고이다.

흐름의 경우는 실측으로부터 유속을 구한다. 표면유속으로부터 추산하는 경우에는 식 (3)을 사용한다.

$$u_z = K u_H \left(\frac{D}{h}\right)^{1/7} \tag{3}$$

여기서, u_z는 어초 정상부에서의 조류속, K는 1.6(흐름방향), 1.2(흐름에 직각방향), u_H는 해도 등에 기재된 최대유속, D는 어초의 높이, h는 수심이다.

파와 흐름이 공존하는 경우는 다음 식 (4)을 사용한다.

$$u = u_z + u_l \tag{4}$$

$$\left.\begin{aligned} u_l &= u_m \sin\Theta \\ u_m &= \frac{\pi H}{T}\frac{\cosh(2\pi D/L)}{\sinh(2\pi h/L)} \\ \Theta &= 2\pi x/L - 2\pi t/T \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

여기서, u는 파와 흐름이 공존하는 경우의 어초 정상부에서 유속, u_l는 파에 의한 수립자의 수평유속, H는 파고, L은 파장, T는 주기, x는 위치, t는 시간이다.

조위는 구조물의 기능설계 및 방재설계의 입장보다 조석 및 고조, 진파에 의해 결정되어진다. 안정계산상의 조위는 목적하는 구조물이 불안정이 되는 조위를 설계조위로 한다.

강제어초의 설치에 있어 표류사의 특성을 검토하여 구조물의 기능 유지보전 및 인접해역으로부터 영향을 검토해야 한다. 또한 해저질의 마찰계수, 지반반력계수, 지반지지력도 및 해저구배를 고려해야 하며, 연안지반의 층 두께에 대한 보링조사도 병행하는 것이 바람직하다. 활동에 대한 안정계산에 사용되는 정지마찰계수는 기록에 나타난 수치를 사용하며, 활동대책을 강구한 시설에 대해서는 신뢰할 수 있는 시험기관에서 시험된 수치를 사용하는 것이 바람직하다.

3.3 인공어초의 안정계산

어초에 작용하는 유체력은 식 (6)에 의해서 나타낼 수 있다.

$$F = C_D A w_o \frac{v^2}{2g} \tag{6}$$

여기서, A는 유선방향의 정사영면적(m^2), w_o는 해수의 단위체적중량(t/m^3), C_D는 항력계수이다. 어초 전체에 대하여 좌등(1967)는 C_D를 레이놀드 수의 함수로 나타내었다(원통어초: $C_D = 1.4$, 각형어초: $C_D = 1.7$). 파력에 의한 어초에 작용하는 유체력은 쇄파의 경우와 비쇄파의 경우로 나눌 수 있다. 비쇄파의 경우에 어초에 작용하는 유체력 F는 식 (7)과 같다.

$$F = C_D A w_o \frac{u_1^2}{2g} + C_M V \frac{w_o}{g}\frac{\partial u}{\partial t} \tag{7}$$

여기서, C_M은 가상질량력계수($C_M = C_{MA} + 1$)이다. 조류와 같이 비정상항이 작은 경우는 식 (7)의 우변 제2항은 생략한다. 쇄파의 경우에는 해중의 파력은 명확하지 않지만, 식 (8)로 유체력 F를 구할 수 있다.

$$F = \frac{3}{8} C_D A w_o H_b \tag{8}$$

여기서, H_b는 쇄파높이($\fallingdotseq 0.78 h_b$), h_b는 쇄파수심이다.

3.4 강제의 부식

강제의 부식속도는 강제의 품질, 설치해역의 수심 및 수온, 용존산소량, 염분량, pH 등에 따라서 차이를 보인다. 또한, 온난해역이 한냉해역보다 부식량이 많은 것은 수온이 높고 용존산소량이 많기 때문이다. 부식속도는 이러한 환경적인 요인뿐만 아니라 생물부착, 표류사의 마모 등이 부식에 영향을 주며, 수심 20m이하의 해역에 대해서는 Table 1과 같이 여러 가지 인자를 고려해야만 한다. 강제어초는 대부분 수심 200m 까지의 해저에 설치되고, 비교적 얕은 수심에서도 수온, 염분농도, 용존산소량 등의 부식요인의 변화가 있다. 수심에 따른 부식량은 Table 2와 같다((사)전국연안어업진흥개발협회, 1992). 여기에서 알 수 있는 것은 수심이 깊어지면 수온이 낮아지고 용존산소량이 감소하므로 부식량도 감소하는 것을 알 수 있다.

용존산소량이 커지게 되면 강제 표면에 공급되는 산소량이 증대되어 부식속도가 커지게 된다. 미국의 Naval Civil Engi-

Table 1 Cause of corrosion

Sea water	Dissolved oxygen
	Water depth
	Temperature
	Concentration of salinity
	Velocity of flow
	Dissolved solids
Material	Chemical ingredient of iron
	Weldment
	Shape
The rest	Repeated stress
	Friction
	Adhering fresh things
	Littoral transport

Table 2 Corrosion capacity of artificial steel fish reefs

The depth of water from top of fish reef	Corrosion capacity (mm/30 year)
L.W.L - 1.0 ~ - 20 m	3.00
- 20 ~ - 50 m	1.80
- 50 m Below	1.35
The bottom of the sea	0.90

neering Laboratory, Reinhart(1967)의 태평양 수심 1.5, 722, 2067m에서의 시험에서 얻은 용존산소량과 부식속도의 관계에 대한 연구를 보면, 용존산소량이 부식속도에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 해수의 영향을 받는 곳에서 강제어초의 부식 특성은 임우조(1992)의 연구가 있다. 해수의 염분농도는 일반적으로 심해에서는 약간 높고, 표층에서는 담수가 유입되므로 약간 저하한다. Hache(1956)는 NaCl이 약 10g/l 까지 증가되면 부식속도는 점차 증가하지만, 그 이상의 농도가 되면 용존산소량이 급격히 감소하기 때문에 부식속도는 감소한다고 하였다. 즉, 하천수가 유입되어 염분농도가 크게 저하하는 수역에서는 반대로 용존산소량이 증가하기 때문에 부식속도가 약간 커지는 경향이 있다. 해수의 일반적인 온도범위에서는 수온이 높아지면 산소의 확산 속도가 커서 강제표면에서의 반응속도도 빨라 부식속도는 증가한다. Reinhart(1972)는 부식속도와 용존산소량, 온도의 관계에 대해서 식 (9)을 제안하였으며, 여기에서 알 수 있는 것은 해수에서의 부식속도는 온도의 영향이 용존산소량의 영향에 비해서 적다는 것이다.

$$U_b = 21.3 + 25.4 \times C + 0.356 \times T \quad (9)$$

여기서, U_b는 부식속도(μm/y), C는 용존산소량(ppm), T는 온도(℃)이다.

해중생물은 주로 천해에 분포하며, 일반적으로 부착생물은 보호 층을 형성하여 부식을 억제하는 것으로 알려지고 있고, 부착생물의 사멸에 의해서 발생하는 박테리아가 부식을 촉진하는 것이라 생각된다. 생물부착과 부식속도의 관계는 대단히 복잡하여 정확하게 예측하기 어렵지만, 도전춘부 등(1969)은 각 계절별로 부착생물의 수에 따른 부식량에 관한 조사를 실시하였다. 일반적으로, 유속이 빨라지면 강제표면의 부식생성물이 제거되며 강제표면에 용존산소의 보급이 계속적으로 이루어지므로 강제의 부식속도는 빨라진다. Speller(1951)는 해수 중에 보통 강봉을 38일간 설치하여 유속과 부식속도의 관계를 Fig. 1과 같이 나타내었다.

아주 강한 파랑의 영향을 받는 천해의 해저에 유속이 강한 경우에는 표류하는 모래가 강제표면의 부식생성물을 제거하기 때문에 부식속도도 빨라진다. 표류사가 부식에 영향을 미친다는 것은 Escalante가 캘리포니아의 Port Hueneme에서 실시한 강관의 부식시험의 결과에서 알 수 있듯이, 천해의 해저부에서 표류사에 의하여 부식속도에 영향을 주는 것이 확인되었으며, 그 부식속도는 0.23mm/년이다. 도원영일 등(1994)이 화가산현 근해의 수심 52m 해저에 시설된 강제시험어초를 11년 동안 조사한 내용에 따르면, 표류사의 영향을 받는 강제어초 하단의 부식속도(한쪽 면)가 0.04mm/년, 표류사의 영향을 받지 않은 부위에 대한 부식속도(한쪽 면)는 0.03mm/년으로 조사되었다.

4. 강제시험어초의 설치 및 조사

4.1 시험어초의 제작과 설치

시험용 강제어초는 사각형 3단 어초로서 가로 5.4m×세로 5.4m×높이 9m로 대형으로 제작하였고, Cell 하나의 크기는 1.8m×1.8m×1.8m의 정육면체이다. 제작된 강제어초는 25t의 크레인을

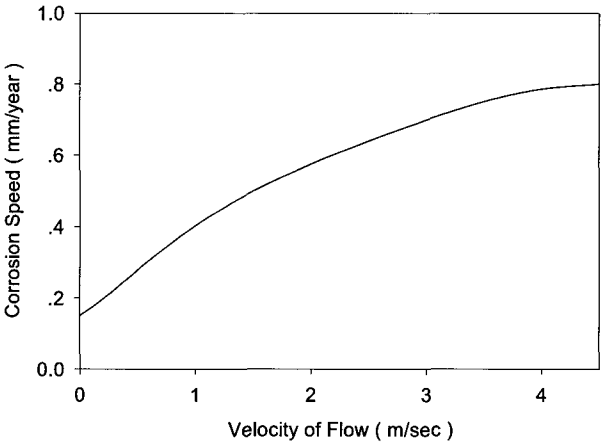

Fig. 1 Relation between velocity of flow and corrosion speed (Speller, 1951)

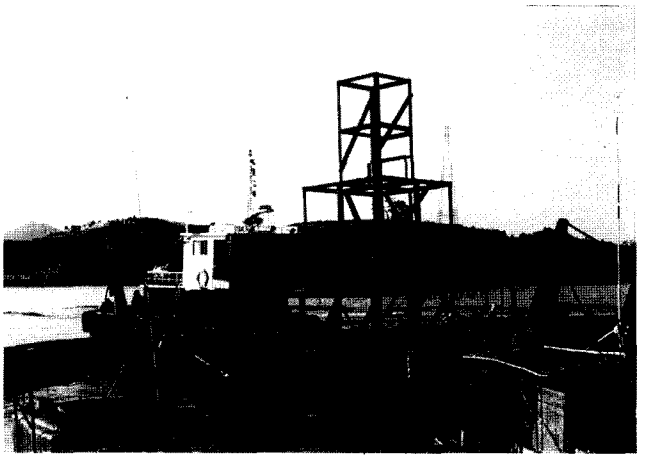

Photo. 1 Artificial steel fish reef

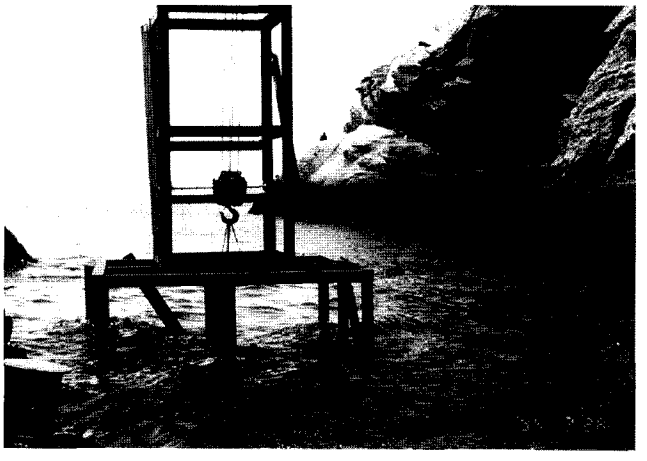

Photo. 2 Installation of artificial steel fish reef

이용하여 바지선에 선적한 후 이동하였다(Photo. 1). 투명도가 좋고 해양환경이 좋은 여수시 소리도 해역에 바지선 및 크레인선을 이동시키고, 강제어초의 설치에 앞서 잠수사들이 해저지반의 조건을 탐사하여 잘 다져진 사질지반의 편편한 위치를 선정하였다. 여기에서 설치방법은 투하식이 아니라, 크레인을 이용한 조하식으로 해저지반까지 안정되게 설치하였다. 시험용 강제어초는 여수시 남면 소리도 연안 안마도 해역에 시설하였으며, 설치장소는 사질지반인 수심 15m정도의 해역이다(Photo. 2).

4.2 해양환경조사

시험용 강제어초 설치 해역에 대한 주기적인 해양환경조사를 실시하여 수온, 염분, pH, DO를 측정하였다. 어초의 구조부재에 사용된 강제의 부식상황, 해저부재의 표류사에 의한 마모부식상황, 부재의 용접 접합부의 부식상황 등의 시험재에 의한 조사와 세굴, 매몰, 안정성의 상황 및 위집효과 등의 어초 기능에 대한 조사를 실시하였다.

4.2.1 시험재에 의한 조사

시험재(6T×200mm×100mm)를 어초의 상부(수심 7m), 중부(수심 11m), 하부(수심 13m)에 설치하고 약 2개월마다 정기적으로 시험재를 수거하여 그 표면을 깨끗이 연마한 후, 아세톤을 이용하여 표면의 불순물을 제거하였다. 이렇게 완전히 제거된 시험재의 무게를 측정하여 시간 및 수심에 따른 부식량을 Table 3에 제시하였다. 시험재의 부식량은 비교적 단기간에 걸친 부식량 조사로서 그 부식량을 두께로서 측정하기가 어려워, 무게로서 부식을 측정한 결과 부식량은 아주 미미하였다. 시험용 강제어초의 하단부에서 발생할 수 있는 표류사에 의한 마모부식량은 단기간의 조사에 의해서는 해수에 의한 부식량과의 차이를 명확히 측정하기 어렵기 때문에 장기간 정기적인 부식량 조사를 하여야 할 것이다. 시험용 강제어초는 너트 및 볼트에 의해서 조립된 어초가 아니라, 용접에 의해서 조립되어진 강제어초로서, 용접접합부의 부식이 강제어초의 내구성을 크게 좌우함으로 용접접합부의 부식량에 대해서 어초 전체에 걸친 조사를 실시한 결과, 강제어초의 내구성에는 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 시험재에 의한 용접접합부 부식량의 조사결과 강제의 표면에서 발생되어지는 부식량과 비교할 때 용접접합부의 부식량은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

4.2.2 어초기능에 관한 조사

시험용 강제어초를 설치한 해역의 지반 조건은 사질지반으로서, 조류 및 파력 등에 의한 어초의 압밀 침하 또는 매몰에 대한 검토를 잠수조사에 의해서 직접 관찰하였다. 그 결과, 지금까지 어초주변에 국부적인 세굴이 발생하였으나, 그 양은 극히 적어 어초의 안정성에는 전혀 영향을 주지 않았으며, 강제어초의 본체에도 특별한 손상이나 파손이 없었다. 강제어초의 설치저면은 주변 해저지반보다 약 5cm 정도 침하된 상태로 어초는 직립된 안정상태를 유지하고 있었다. 이러한 부분적인 세굴 및 매몰은 조류 및 파랑에 의한 표사 이동에 의해서 반복되는 것이라 생각된다. 잠수조사 및 수중비디오 카메라에 의한 어류의 위집상황 및 부착생물에 대한 조사를 실시하였고, 강제어초의 상부, 중부, 저부에 설치된 시험재에 부착된 생물을 수거하여 현미경으로 정밀조사를 실시하였다. 촬영된 수중비디오에 의한 조사 내용을 살펴보면, 3~6개월의 단기간에 강제시험어초 표면에 부착생물의 착생되었으며, 착생속도는 콘크리트 어초를 3년간 비교하면, 몇 배의 빠른 착생속도를 알 수가 있었다. 또한 어초 주변에서 유영하는 어류들이 아주 많음을 확인하였다.

Table 3 Variation of weight by corrosion(서성호, 2000)

Layer / Date	First layer (g)		Second layer (g)		Third layer (g)	
99/03/28	860	0	900	0	880	0
06/21	859	-1	897	-3	876	-4
08/18	857	-3	895	-5	873	-7
10/18	855	-5	891	-9	869	-11
12/16	853	-7	889	-11	866	-14
00/03/29	850	-10	886	-14	861	-19

5. 콘크리트와 강제시험어초의 조사결과

본 조사는 현재까지 국내에서 시설되어 있는 콘크리트 어초를 조사하고 강제시험어초를 제작하여 실해역에 설치하고 그 효과를 콘크리트어초와 비교·분석하였다.

5.1 콘크리트어초의 조사결과

콘크리트로 제작되어진 인공어초는 비교적 소형이 시설되었다. 인공어초는 어초 한 개가 해역에서 효과를 발생시키는 것이 아니라 하나의 군을 형성함으로서 효과를 얻을 수 있다. 본 조사에서도 현재까지 시설된 인공어초가 시설초기에는 하나의 군을 형성하여 효과를 나타내는 것으로 조사되었다. 그러나 시간이 지남에 따라 흐름 및 파력 등의 외력으로 인한 인공어초의 유실과 침하가 발생되는 부분이 조사되었다. 사각형어초는 일반적으로 수심 30m 내외의 수심에 3단 적재로서 하나의 군집을 이루어 시설되었다. 그러나 30m 수심에 대하여 $2m^3$의 사각형어초를 3단 적재하는 것은 대단히 어려운 일이며, 3단으로 적재할지라도, 어초군의 높이가 6m밖에 되지 않아 상층어 및 중층어에 대한 위집효과를 기대하기가 어렵다. 콘크리트어초는 설치 및 운반시에 어초간의 충격에 의해 파손되는 경우가 많았다. 시설 후 콘크리트에서 발생되는 강알칼리성 물질로 인하여, 어초 표면에 부착생물이 착생하는 속도가 약 2.5~3년 정도로 느린 것으로 나타났다. 또한, 연약지반에 설치되어진 어초는 자중 및 여러 가지의 원인에 의해 침하되어 어초의 기능을 발휘하지 못하는 경우도 있었다.

5.2 강제시험어초의 조사결과

강제어초는 대형제작이 가능하고 제작, 운반시 및 설치시 어초의 손상이나 파손이 없었다. 강제부식속도는 수심에 따라 차이가 있음이 확인되었다. 표류사는 어초저면 강제의 마모부식에 영향을 주는 것으로 판단되지만, 정량적인 분석은 장기간의 조

사가 필요하다. 용접접합부의 부식상황은 어초의 내구성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 어초의 위집효과가 상당히 양호하였다. 어초 주변에 유영하는 어종에 수심에 따라 상층어, 중층어, 저층어로 나누어져 분포하는 것을 알 수 있었다. 부착생물의 착생속도 및 종류가 수심에 따라서 차이가 있음이 확인되었다(Photo. 3). 부착생물의 착생속도가 약 5개월 정도로 비교적 짧은 기간에 이루어졌다(Photo. 4).

강제어초의 내구성 및 어류의 위집효과는 콘크리트 어초와 비교하면, 상당히 양호한 것으로 조사되었다. 어초표면에 부착생물의 착생속도도 철근콘크리트 어초는 약 3년 정도의 기간이 소요되지만, 강제어초인 경우에는 약 5개월 정도의 기간이 소요되는 것으로 조사되었다. 그러나 1년 동안의 비교적 단기간에 걸친 조사 내용으로는 정확한 결과를 얻을 수 없었기 때문에 오랜 기간에 걸쳐 종합적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

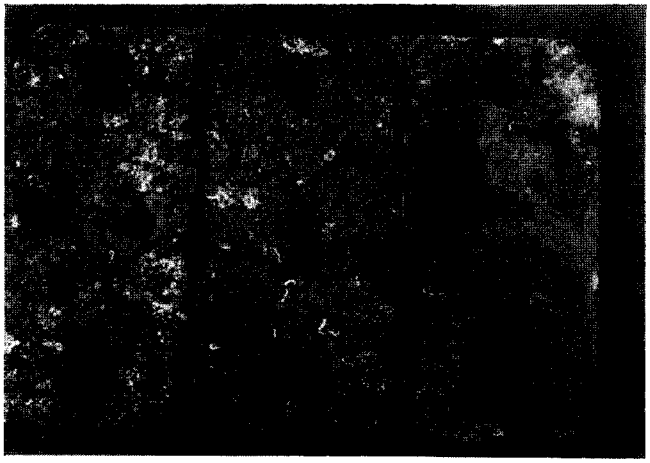

Photo. 3 Test pieces 5 months after installation

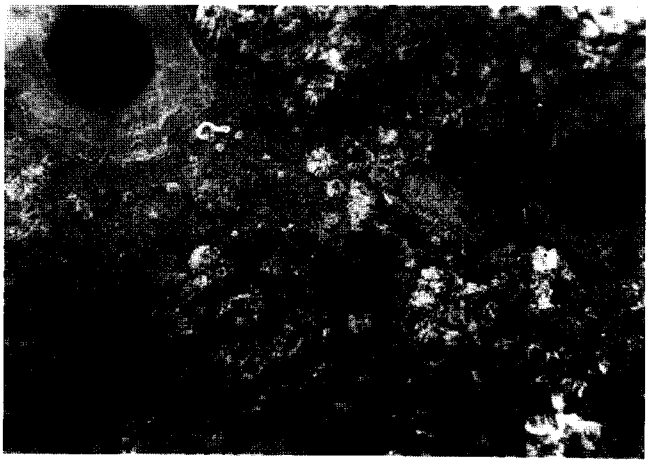

Photo. 4 Adhering fresh things to test pieces

6. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 어초가 가지고 있는 문제점을 보완하기 위하여 강제를 이용한 시험어초를 제작하여 실해역에 시설한 후 그 효율성에 대하여 지속적인 조사를 실시하였다. 강제어초는 대형으로 제작되기 때문에 실해역에 시설 후 상층어, 중층어, 저층어에 대한 위집효과를 기대할 수 있었다. 대형으로 제작되기 때문에 강제어초 하나만으로도 하나의 군을 형성하여 외력에 의한 분산이 없으며 자체중량이 가벼워 자중에 의한 침하를 줄일 수 있기 때문에, 장기간 인공어초로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단되었다. 해역조건 및 생태환경에 따라 적당한 구조 및 형상으로 제작할 수 있어서 치어 보호 및 육성에 기여할 뿐만 아니라 용승류의 발생과 차영효과를 얻을 수 있기 때문에 어류에 대한 위집효과가 우수하였다. 해수 중에서 강제의 부식속도는 초기에는 0.10~0.16mm/년 이지만, 5년 후의 부식속도는 초기의 1/2, 30년 후에는 약 1/10인 점을 고려하여 강제의 두께를 선정하면 콘크리트 어초에 비하여 우수한 내구년수를 확보할 수 있다. 콘크리트 어초는 콘크리트에서 발생되는 강알칼리성으로 인하여 부착생물의 착생속도가 약 2.5~3년 정도로 느린 반면, 강제어초는 강제에서 발생되는 철 이온이 환경친화성이 강하여 어초 설치시 약 3~6개월에 부착생물이 착생하였다.

비교적 단기간에 걸친 연구, 조사에도 불구하고 콘크리트 어초가 갖고 있는 여러 가지의 문제점들을 보완할 수 있을 것으로 판단되었다. 보다 효율적인 인공어초 어장을 조성하기 위해서는 효율성 및 경제성 등에 대한 상세한 조사와 더불어 인공어초 시설 예정지에 대해서도 더욱 면밀한 조사가 이루어진 후에 인공어초를 설치하는 것이 바람직하다고 하겠다.

참 고 문 헌

국립수산진흥원 (1976). 인공어초 투입해역의 어초효과조사, 국립수산진흥원 사업보고, 제32호, pp 87-111.

국립여수대학교 수산과학연구소 (1998). 인공어초시설 사후 관리 조사연구, 전라남도.

김헌태 (2001). "비정상 흐름장의 인공어초 침하특성에 관한 실험적 연구", 한국해양공학회지, 제15권, 제2호, pp 33-38.

도전춘부, 삼정전만궁, 무정격도 (1969). "해수부식에 미치는 계절요인 영향", 방식기술 제18권.

도원영일, 초뢰치, 판본유이 (1994). 강제어초의 내구성(제3보), 중산제강기보, 33, pp 42-46.

류청로, 김현주 (1994). "착저식 인공어초에 작용하는 파력특성에 관한 연구", 한국수산학회지, 제27권, 제5호, pp 605-612.

(사)강재구악부 강제어초시설위원회 (1996), 강제초기술 매뉴얼.

(사)전국연안어업진흥개발협회 (1992), 연안어장정비개발사업시설설계지침, 제3편.

서성호 (2000). 강제어초의 효율성에 관한 연구, 여수대학교 해양토목공학과 석사학위논문.

서학근, 손무익, 박영조, 장철호 (1982). 인공어초투입효과시험, 국립수산진흥원 사업보고, 55호, pp 217-247.

손태준, 박정식, 서두옥 (1977). "어초의 형태와 어군의 위집에 관

한 연구", 한국수산학회지, 제10권, 3호, pp 179-187.
윤상준, 김헌태 (2001). "비정상 흐름-파랑 공존장의 인공어초 침하특성에 관한 연구", 2001년도 한국해양공학회 춘계학술대회논문집, pp 234-239.
윤상준, 김헌태 (2001). "비정상 흐름-파랑 공존장의 인공어초 침하특성에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제15권, 3호, pp 28-34.
이익효 (1998). "인공어초 시설상황에 관한 연구", 여수대학교 논문집, 제13집, 제2권, pp 209-225.
임우조 (1992), "강제어초의 부식특성과 방식에 관한 연구", 한국부식학회지, 제21권, 제1호, pp 120-130.
좌등 수 (1967). "인공어초연구에 관한 약간의 문제점(비판토론)", 수산증식림시호, 제7호.
현봉재, 정영균, 장계남, 조영조 (1979). "콘크리트 블록어초 효과조사'78", 국립수산진흥원 사업보고, 49호, pp 173-199.
홍종현, 김문훈, 우광성 (2003). "인공어초 개발을 위한 재생골재 콘크리트의 실험적 연구", 한국해양공학회지, 제17권, 제4호, pp 16-22.
홍종현, 김문훈, 우광성, 고성현 (2004). "인공어초용 재생골재 콘크리트의 최적 배합설계 모델", 한국해양공학회지, 제18권, 제1호, pp 53-62.
Hache, A. (1956). "Rev. de Metallurgie", No 1.
Reinhart, F.M. (1967). "Corrosion of Materials in Hydrospace Part I; Irons, Steels, Cast irons, and Steel Products", U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note.
Reinhart, F.M. (1972). Proceedings of 3rd International Congress on Marine Corrosion and Fouling.
Speller, F.N. (1951). Corrosion Causes and Prevension.

2007년 7월 30일 원고 접수
2007년 9월 4일 최종 수정본 채택