

인공어초의 설계에 대한 이론적 고찰

홍성완

제주도해양수산자원연구소 자원개발연구실

Theoretical Study for the Design of Artificial Reefs

Seong-Wan Hong

Fisheries Resources Research Institute, Cheju-do 699-810, Korea

Artificial reefs are used for the purpose of fish aggregation and propagation. Artificial reefs are constructed in coastal waters around the world to enhance the fishery resources and products. They are increasingly viewed as fishery management tools which create the reproduction or nursery sites.

Environmental conditions around reefs are changed after the installation. Physical conditions such as current characteristics and distribution of bottom material around a reef, and biological conditions such as distribution and abundance of fish or other aquatic organism, are changed. New conditions created and maintain the new conditions. Also they must be stable after that. In this paper, the environmental characteristics and design around a fishing reef were surveyed.

Key words : artificial reef, design external force

서론

인공어초는 각종 수산생물의 위집에 의한 어장 조성은 물론 어린고기의 보호·배양에 의한 증양효과 및 소형 기선저인망에 의한 불법조업 방지를 목적으로 설치되고 있다.

제주도에서는 1972년 인공어초 시설사업을 실시한 이후 1998년 까지 총 16,294ha가 시설되고 있으며, 이 중 어류의 위집 및 불법어업 방지를 목적으로 사각형 인공어초가 총 시설의 70%를 차지하고 있다.

일반적으로 사각형 인공어초 주변에서의 수산생물의 행동·생태는 우선 어초부에 저서생물이 서식하게 되고, 이러한 생물을 섭이하는 저층성 어류가 해저면에 살고, 어초내부 공간을 서식장소로 하는 정착성

어류가 위집한다. 한편, 중층부에는 소형 회유성 어류가 유영하게 되고, 표층에는 육식성인 대형 어류가 일시적으로 체류한다.

인공어초의 집어기구에 대한 연구는 다각적으로 이루어지고 있으나(홍 등, 1996, 1997, 1998; 小川, 1973; 岡本, 1989). 어류의 입장에서 보면 은신처, 먹이장소, 산란장소 등으로 이용하는데 만족하고 있기 때문에 어초에 위집되고 있다. 인공어초를 물리환경적 측면에서 생각해 보면, 어초의 항적류에 발생하는 와류·유영, 상류층의 가속류·곡류 등 흐름환경의 변화와 어초주변이나 내부공간의 명암 등 기하학적 음영이 생긴다(佐藤, 1968; Helfman, 1981; 中村, 1982). 이러한 영향으로 저생생물의 착생을 촉진시키고, 플랑크톤을 유영 범위내에 체류시키므로 플랑크

톤을 먹이로 하는 어류가 위집하게 된다.

결국, 인공어초가 설치되면 그 주변의 흐름이나 저질분포 등의 물리적 환경조건이 변화하게 된다. 또한, 어류를 비롯한 생물의 분포도 변화하여 인공어초 설치전과는 다른 생물환경 조건이 인공어초를 중심으로 새롭게 형성되는 것이다.

인공어초가 새로운 환경을 형성하여, 지속적으로 인공어초의 기능을 유지하려면 파손이 되지 않도록 구조상 충분한 강도를 갖고 있어야 하며, 설치후에도 매몰 등이 없는 안정성이 요구된다.

이 보고의 목적은 현행 제주도 연안 수심 20~50m 사이에 설치되고 있는 사각형 인공어초의 설계에 있어, 이론적 근거를 바탕으로 설계기준을 마련하여 인공어초의 효과를 극대화시키고자 한다.

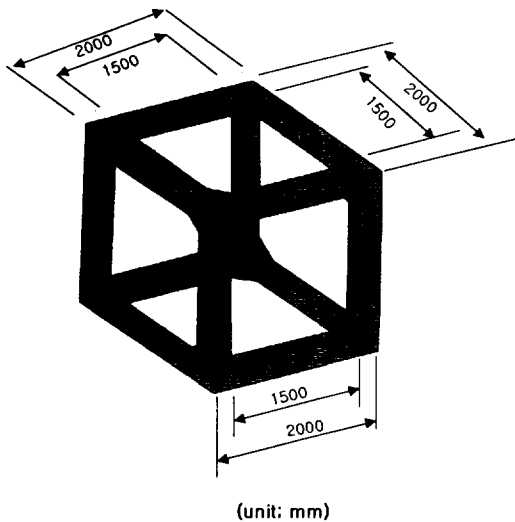


Fig. 1. Artificial reef of square type.

사각형 인공어초의 요건

인공어초의 구조는 대상생물의 행동·생태특성에 따라 어초기능을 갖도록 설계할 필요가 있으며, Fig. 1과 같은 사각형 어초에 대한 어류의 위집상황은 개략적으로 Fig. 2에 나타난 것처럼 3가지 형태로 구분할 수가 있다(堺, 1973).

① I형 어초는 어느정도의 알맞은 빈 공간을 필요

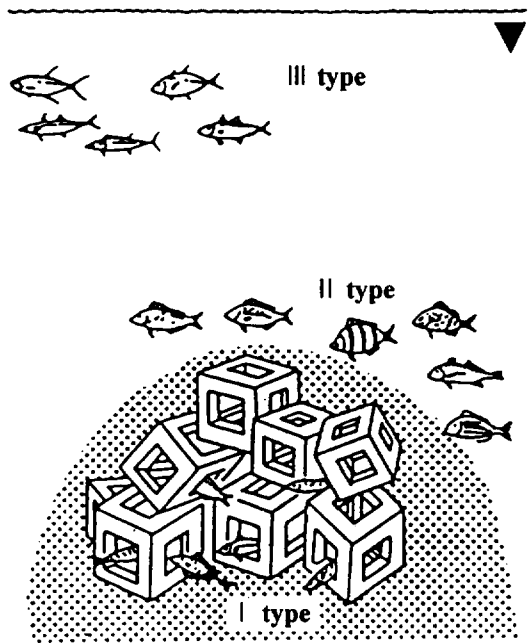


Fig. 2. Patterns of fish response to a square reef.

로 하고, 흐름소통이 원활한 구조를 선호한다.

② II형 어초는 어초물체를 시각의 대상목표로 삼고 유영하는 어류로 계속적으로 어초를 식별하기 위해서는 빈 공간의 간격은 시계의 해상력을 감안 2m 정도 이하로 하는 것이 바람직하다.

한편, 어초에 부착한 생물이나 소용돌이, 교류(Turbulence) 등의 수압변동을 청각으로 느끼는 경우에는 어초부분에서 교류가 발생하여 항적류 중에 박리하는 조건으로서

$$Bu > 100 \tag{1}$$

가 필요하다. 여기서, B : 어초폭(cm), u : 유속(cm/s)이고 u는 평상시 정온한 흐름의 유속으로 한다.

어초주변 플랑크톤이나 어류가 위집되는 유영부분의 유속산정은 다음과 같은 식으로 구해진다(黑木 등, 1954).

$$u' = u \left[\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{gF}{w_o u^2 s}} \right] \tag{2}$$

여기서, u, u' : 어초의 상류측과 하류측의 유속

인공어초의 설계에 대한 이론적 고찰

- w_0 : 해수의 단위증량
- s : 어초전체의 투영면적(빈 공간도 포함)
- F : 어초에 작용하는 유체력

또한,

$$F = \frac{C_D A w_0}{2g} u^2, u = 1.6u_0 \quad (3)$$

- C_D : 항력계수
- A : 유체압을 받는 실제 투영면적
- u_0 : 조류 등의 평균유속(변동유속은 포함하지 않음)

③ III형 어종은 표·중층에 어초환경을 파급시키는 구조를 갖추어야 한다. 이렇게 하기 위한 조건은 어초의 높이가 있어야 하고, 흐름을 차단할 수 있는 기능을 갖고 있어야 한다.

사각형 인공어초의 설계시공

인공어초의 설계조건

현재 사각형 인공어초는 수심 20~50m의 해저에 설치되고 있지만, 앞으로 설치수심이 점점 깊어지리

라 예상된다. 이러한 물리조건 아래의 설계조건은 제작, 시공, 투하, 설치후의 모든 조건에 대해 어초기능이 유지되어야 한다.

시공시의 외력은 운반, 상적, 착저충격 등이 있고, 설치후의 외력은 파랑, 조류에 의한 유체력과 상적, 전도, 전락에 의한 충격 등이 있다. 또한, 설치후에 작용하는 파력이나 조석류에 의한 반복하중에 대해서는 사용재료의 피로에 의한 강도약화를 고려해야 한다.

한편, 설치된 어초가 전도되지 않고 설치위치에 안정적으로 존재하도록 설계해야 하며, 해저가 모래, 조약돌 등 이동성 저질에 어초를 설치하는 경우는 저질의 이동특성을 고려하여 세굴에 의한 매몰이나 날림이 되지 않도록 주의해야 한다.

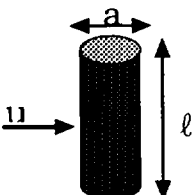
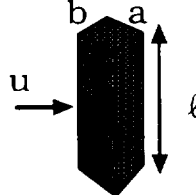
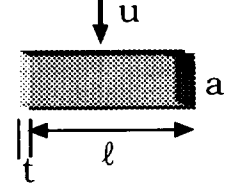
어초투하시 충격하중

해저에의 착지속도(v_0)

어초를 투입하여 자유낙하시키는 경우에는 해저에 착지하면 큰 충격력이 일어난다. 이러한 경우의 설계는 다음과 같은 방법으로 계산이 가능하다.

$$v_0 = v_c \left[1 - \exp \left\{ - \frac{2gh \left(\frac{\sigma_G}{w_0} - 1 \right)}{\left(\frac{\sigma_G}{w_0} + C_{MA} \right) v_c^2} \right\} \right]^{0.5} \quad (4)$$

Table 1. Drag coefficient and mass coefficient

Body	Name	Cylinder						Square pillar		Board						
	Type															
	l/a	1	2	5	10	20	$40 \leq$	1	∞	1	2	4	5	10	20	∞
	C_D	0.63	0.68	0.74	0.82	0.90	1.0	1.05	2.0	1.12	1.15	1.19	1.20	1.29	1.50	2.0
	C_M	2.0						2.0		$4t/(\pi a) + 1.0$						
	C_{MA}	1.0						1.0		1.0						
	Area	$a l$						$a l$		$a l$						
	Volume	$\pi a^2 l / 4$						$ab l$		$\pi a^2 l / 4$						

$$v_c = \sqrt{\frac{2gV}{C_{DA}} \left(\frac{\sigma_G}{w_0} - 1 \right)} \quad (5)$$

- v_c : 중력, 부력, 저항력을 평균한 종단낙하속도
- h : 자유낙하 높이(수심),
- g : 중력가속도(=9.8m/sec²)
- σ_G, w_0 : 어초재료 및 해수의 단위중량,
- C_{MA} : 부가질량계수
- C_D : 유체의 항력계수, V : 어초의 실용적
- A : 어초가 유체저항을 받는 면적(낙하방향에 수직인 면의 투영면적)

여기서, 항력계수 및 부가질량계수는 Table 1과 같고, 수심 10m이상의 경우에는 (5)식을 착저속도(v_c)로 이용해도 상관없다.

해저지반에 단층 착저하는 경우의 충격하중(σ_G) 기반반력 R 은 착저시 지반변위(침하량)가 최대 ϵ 발생했을 경우, $R = K\epsilon^2$ 으로 나타내고 다음식으로 충격하중을 구한다(上北, 1989).

$$\sigma_G = \frac{R}{V} = \frac{K}{V} \epsilon^2, \sigma_G / \sigma_{G1} = k \quad (6)$$

단위중량이 다른 복합재료인 어초의 경우에는 각각의 단위체적중량 σ_{G1} 를 k 배하여 착저시 충격하중으로 한다. σ_{G1} 는 철근콘크리트의 경우 2.4~2.45ton/m³로 한다.

ϵ 는, $L\epsilon^3 - M - \epsilon - N = 0$

$$L = \frac{gK}{3w_0V}, M = \left(\frac{\sigma_G}{w_0} - 1 \right) - \frac{C_{DA}}{4V} v_c^2 \quad (7)$$

$$N = \left(\frac{\sigma_G}{w_0} + C_{MA} \right) \frac{v_c^2}{2}$$

로 풀 수가 있고, 점근법을 이용하여 ϵ 의 제 n 근사를 ϵ_n 으로 바꾸어

$$\epsilon_1 = \sqrt[3]{\frac{N}{L}}, \epsilon_n + 1 = \epsilon_n - \frac{L\epsilon_n^3 - M\epsilon_n - N}{3L\epsilon_n^2 - M} \quad (8)$$

필요한 정도의 ϵ 의 근사치를 구해 (6)식으로부터 σ_G, k 를 구한다.

K 는 해저의 지반반력계수로 모래자갈인 경우이고, 지반의 강도에도 관계하여 $K = 3,000 \sim 5,000 \text{ ton/m}^2$ 의

값을 하는 것으로 한다(Table 2).

Table 2. Characteristic value of reaction force on the bottom base

kind	ν	E kg/cm ²	K kg/cm ²
Rock	3	-	-
Sandgravel	4	100~300	160~500
Clay	3	100~300	210~630

또한, 수면에서 투입하는 경우에는 (6)식은 다음과 같은 식으로 계산할 수가 있다.

$$\sigma_G = \frac{K\epsilon^2}{V} \quad (9)$$

한편, 단층에 착저한 어초위에 어초를 설치하는 경우, 착저시 지반반력은 $R = K\epsilon$ 의 형태로 계산한다. 지반반력계수 K_1 상에 반력계수 $K_2, K_3 \dots K_L$ 의 어초가 상적되는 경우에는 지반의 반력계수를 (10)식으로, 합성반력계수는 (11)식으로 구한다. 이 경우 이미 설치된 어초의 탄력상수 K_0 도 첨가시킨다.

$$K_1 = K \cdot \epsilon \quad (10)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_0} + \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots} \quad (11)$$

이 경우 σ_G 는 다음과 같은 식에 의한다.

$$\sigma_G = L + \sqrt{L^2 + M}, L = (\sigma_G - w_0) - \frac{C_{DA}w_0^2}{4gV}, M = \frac{K_L v^2}{gV} (\sigma_G + C_{MA} \cdot w_0) \quad (12)$$

파력의 계산

어초설치수심 h 가 1/2 L (L 은 파장)보다 깊은 경우에는 파력은 고려하지 않아도 된다. 한편, 1/4파장보다 얇은 곳에서는 충분한 검토가 필요로 한다.

① 비쇄파 영역

$$\beta = \left| \frac{2\pi C_M V}{C_{DA} T u_m} \right|, u_m = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2\pi \{ (h-D)/L \}}{\sinh 2\pi h/L} \quad (13)$$

$\beta > 1$ 일 때 최대파력 F_{max}

$$F_{max} = \frac{2\pi C_M V w_o}{gT} u_m \quad (14)$$

$\beta \leq 1$ 일 때

$$F_{max} = \frac{C_D A w_o u_m^2}{2g} + \frac{2\pi^2 C_M^2 V^2 w_o}{C_D A g T^2} \quad (15)$$

C_M : 외관 질량계수 ($C_M = C_{MA} + 1$)

T, H, L : 파의 주기, 파고, 파장

D : 어초윗면의 수심

② 쇄파 영역

쇄파영역에 설치되는 어초에 가해지는 전 파력 F_b 는 다음식으로 계산된다.

$$F_b = 0.31 C_D A w_o H_b \quad (16)$$

$$H_b = 0.78 h_b$$

여기서, H_b, h_b : 어초설치 위치에서의 쇄파고,

쇄파수심

흐름에 의한 힘

흐름은 설치한 어초상단에서의 유속 u_m 를 이용한다. 조류 등 흐름의 변화가 느린 경우에는 다음과 같은 식으로 계산해도 관계없다.

$$F_u = C_D A w_o \frac{u_m^2}{2g} \quad (17)$$

흐름에 의한 힘 F 에 대해 안정성을 유지하기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

① 날림이 발생하지 않기 위한 조건

$$S_{FS} = \frac{W\mu(1-w_o/\sigma_G)}{F} \geq 1.2 \quad (18)$$

W : 어초의 공중중량, σ_G, w_o : 어초재료 및 해수의 단위 체적중량

S_{FS} : 날림에 대한 안전율

μ : 어초와 기반의 마찰계수(자갈 $\mu = 0.5$, 모래 $\mu = 0.3$)

② 전도되지 않기 위한 조건

$$S_{FS} = \frac{W(1-w_o/\sigma_G)}{F} \cdot \frac{l_V}{l_A} \geq 1.2 \quad (19)$$

l_A : 흐름에 직각인 어초의 정사영면의 도심까지의 높이

l_V : 어초중심의 저면에서의 사영점에서 가장 가까운 능선까지의 거리

해저가 경사진 경우에는 중력, 부력, 작용력을 지반면에 대해 법선, 접선방향에 분해합성한 수치를 이용하여 식 (18), (19)에 대입, 검토할 필요가 있다.

세굴에 의한 어초의 안정

어초가 모래나 자갈부분에 설치되는 경우에는 파랑 및 흐름에 의해 세굴을 받아 안정을 잃어 전도 또는 날림이 발생한다. 저면에 놓인 블록이 움직이기 시작하는 유속을 회류수조를 이용, 실험한 결과 다음과 같은 이론식을 구했다(黒木, 1954).

$$v_c = K_I \sqrt{\frac{g}{\sigma}} \cdot \sqrt{(\sigma - \rho)l} \quad (20)$$

v_c : 움직이기 시작한 유속, ρ, σ : 해수와 어초블록의 밀도

g : 중력가속도,

l : 어초블록의 대표길이

K_I : 무차원계수(Table 3참조)

Table 3. K_I value

Type	K_I	Type	K_I
Square I	0.42	Triangle	0.32
Square II	0.48	Wheel	0.51
Cylinder	0.48		

I : 45° toward flow, II : 90° toward flow

사각형 어초의 설계 계산에

설계조건

설 계 파 : 파고 $H = 5.0m$, 주기 $T = 10sec$

실제조류속 : $U = 1.0knot$

설치수심 : $h = 30m$

설치방법 : 해상투입

설치장소의 해저저질 조건 : 사니질($d_{30} = 0.5mm$)

사용재료의 허용응력

콘크리트(4주간 강도 $\sigma_{28} = 240 \text{ kg/cm}^2$)
 허용압축응력 : $\sigma_{ca} = \sigma_{28}/3 = 80 \text{ kg/cm}^2$ (정하중)
 $\sigma_{ci} = 2.0 \times \sigma_{ca} = 160 \text{ kg/cm}^2$ (충격 등
 일시적 동하중, 정하중의 2배)
 허용인장응력 : $\sigma_{ct} = \sigma_{ci} \times (1/10) = 16 \text{ kg/cm}^2$
 허용전단응력 : $\tau_c = 7 \times 2 = 14 \text{ kg/cm}^2$

철근

재질 : 인장강도 4,900~6,300 kg/cm^2 , 내력 3,000 kg/cm^2 이상
 허용응력 : $\sigma_{sa} = 1,600 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_{si} = 1.65 \times \sigma_{sa} = 2,640 \text{ kg/cm}^2$ (충격 등 일
 시적 동하중, 정하중의 1.65배)
 철근의 부착응력 : $\sigma_{28} = 240 \text{ kg}$, 이형철근의 경우
 $\tau_o = 16 \text{ kg/cm}^2$

설계외력의 계산

어초의 규격

단일체 규모 : $2.0 \times 2.0 \times 2.0$ (중심간격 $1.75 \times 1.75 \times 1.75 \text{m}$, 창
 의 크기 $1.5 \times 1.5 \times 1.5 \text{m}$, 8.0 공m^3 /개)
 구조 : 철근콘크리트
 어초면의 치수 : $0.25 \times 0.25 \text{m}$ (모서리부분 0.2m)

착저시 설계외력

① 어초 실용적(V), 공중중량(W), 투영면적(A)
 $V = \{(2.0^2 - 1.5^2 + \frac{1}{2} \times 0.2 \times 0.2 \times 4)\} \times 0.25 \times 2 + \{0.25^2 \times 1.5 + \frac{1}{2} \times 0.2^2 \times 0.2 \times 2\} \times 4 = 1.40 \text{m}^3$
 $W = 2.4 \text{ ton/m}^3 \times 1.40 = 3.36 \text{ ton}$
 흐름에 직각인 경우
 $A = (2.0^2 - 1.5^2 + \frac{1}{2} \times 0.2 \times 0.2 \times 4) \times 2 - 0.25^2 \times 4 = 3.41 \text{m}^2$
 흐름에 45° 인 경우
 $A = \{ \{(2.0^2 - 1.5^2 + \frac{1}{2} \times 0.2 \times 0.2 \times 4)\} \cos 45^\circ \times 2 + 0.25 \times 1.5 \times \cos 45^\circ \times 2 \} = 2.40 \text{m}^2$
 ② 착저시 속도(v_o)

$$v_c = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 1.40}{2.0 \times 3.41} \left(\frac{2.4}{1.03} - 1 \right)} = 2.31 \text{ m/sec}$$

$v_o =$

$$2.31 \times \left[1 - \exp \left\{ 1 - \frac{2 \times 9.8 \times 30 \times \left(\frac{2.4}{1.03} - 1 \right)}{\left(\frac{2.4}{1.03} + 1.0 \right) \times 2.31^2} \right\} \right]^{0.5} = 2.31 \text{ m/sec}$$

③ 착저충격력

Table 2에 의하면 $K = 300 \text{ kg/cm}^2 = 3,000 \text{ ton/m}^2$ 및 식 (7), (8), (9)를 이용하여 다음과 같이 계산된다.
 (단층 착저로 시설되는 경우)

$$L = \frac{9.8 \times 3,000}{3 \times 1.03 \times 1.40} = 6,796$$

$$M = 9.8 \times \left(\frac{2.4}{1.03 - 1} \right) - \frac{2.0 \times 3.41}{4 \times 1.40} \times 2.31^2 = 6.54$$

$$N = \left(\frac{2.4}{1.03} + 1.0 \right) \times \frac{2.31^2}{2} = 8.88$$

$$\epsilon_1 = \sqrt[3]{\frac{8.88}{6,796}} = 0.109 \text{m}, \epsilon_2 = 0.109 -$$

$$\frac{6,796 \times 0.109^3 - 6.54 \times 0.109 - 8.88}{3 \times 6,796 \times 0.109^2 - 6.54} = 0.112 \text{m}$$

$$\epsilon_3 = 0.112 -$$

$$\frac{6,796 \times 0.112^3 - 6.54 \times 0.112 - 8.88}{3 \times 6,796 \times 0.112^2 - 6.54}$$

$$= 0.112 (\epsilon_2 \approx \epsilon_3)$$

$$\sigma_G = \frac{K}{V} \times \epsilon_2 = \frac{3,000}{1.40} \times 0.112^2 = 26.88 \text{ ton/m}^3$$

따라서, 착저시 어초면의 응력계산은 어초면의 단위 길이당 중량 $q = 0.25 \times 0.25 \times 1.0 \times 26.88 = 1.68 \text{ ton/m}$ 로 구조계산을 한다.

(이중 착저로 시설되는 경우)

지반반력 R 은 식(10)으로부터 구한다. 단, 지반반력계수는 $K = 5,000 \text{ ton/m}^2$ 로 하고, 어초의 탄력상수는 $K_o = 600 \text{ ton/m}$ 로 한다.

$$K_1 = 5,000 \times 0.112 = 560 \text{ ton/m}, K_2 = 600 \text{ ton/m},$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{600} + \frac{1}{560}} = 290 \text{ ton/m}$$

$$L = (2.45 - 1.03) - \frac{2.0 \times 3.41 \times 1.03 \times 2.31^2}{4 \times 9.8 \times 1.40}$$

$$= 0.737$$

$$M = \frac{290 \times 2.31^2}{9.8 \times 1.40} \times (2.45 + 1.0 \times 1.03) = 392.5$$

$$\sigma_G = 0.737 + \sqrt{0.737^2 + 392.5} = 21.3 \text{ ton/m}^3$$

낙하어초에 대해서는 단위체적 21.3 ton/m^3 인 분포 하중이지만, 밑에 있는 어초는 $R = 21.3 \times 1.40 = 29.8 \text{ ton}$ 의 집중하중을 받는다.

어초면의 산정(착저시)

어초면의 모멘트(M), 축력(N), 전단력(τ)

어초면의 단위길이당 중량 g 가 주어진 경우, 사각형어초의 어초면 모멘트, 축력, 전단력은 Table 4에 나타난 식으로부터 구해진다.

① 모멘트(M), 축력(N)

어초면 모서리부분

$$M_c = \frac{3}{8\sqrt{2}} q l^2 = \frac{3}{8\sqrt{2}} \times 1.68 \times 1.75^2 = 1.36 \text{ ton-m}$$

$$M_t = \frac{17}{8\sqrt{2}} q l^2 = \frac{17}{8\sqrt{2}} \times 1.68 \times 1.75^2 = 7.73 \text{ ton-m}$$

$$N_c = \frac{9}{2\sqrt{2}} q l = \frac{9}{2\sqrt{2}} \times 1.68 \times 1.75 = 9.36 \text{ ton}$$

$$N_t = \frac{3}{4\sqrt{2}} q l = \frac{3}{4\sqrt{2}} \times 1.68 \times 1.75 = 1.56 \text{ ton}$$

어초면 중앙부분

$$M_c = 0.32 \text{ ton-m}, M_t = 6.58 \text{ ton-m}$$

$$N_c = 9.36 \text{ ton}, N_t = 1.56 \text{ ton}$$

② 전단력(τ)

모서리부분과 중앙부분 공통

$$\tau = \frac{3}{\sqrt{2}} q l = \frac{3}{\sqrt{2}} \times 1.68 \times 1.75 = 6.24 \text{ ton}$$

어초의 안정에 대한 검토

파랑 및 흐름에 의한 어초에 작용하는 힘

파랑은 설치지점에서 비쇄파이프로 식(13)을 이용하여 어초 최상부의 유속을 구한다.

$$u_m =$$

$$\frac{3.14 \times 5.0}{10} \cdot \frac{\cosh\{2 \times 3.14 \times (30 - 28) / 137.19\}}{\sinh(2 \times 3.14 \times 30 / 137.19)}$$

$$= 0.854 \text{ m/sec}$$

$$\beta = \frac{2 \times 3.14 \times 2.0 \times 1.40}{20 \times 3.41 \times 10 \times 0.854} = 0.302$$

$\beta < 1$ 이 되므로 식(15)을 이용하여 파랑에 의해 작용하는 힘 F_{max} 는 다음과 같이 계산된다.

$$F_{max} = \frac{2.0 \times 3.41 \times 1.03 \times 0.854^2}{2 \times 9.8} + \frac{2 \times 3.14^2 \times 2.0^2 \times 1.4^2 \times 1.03}{2.0 \times 3.41 \times 9.8 \times 10^2} = 0.285 \text{ ton}$$

한편, 조류에 의해 작용하는 힘 F_u 는 식(17)을 이용한다.

$$F_u = 2.0 \times 3.41 \times 1.03 \times \frac{0.5^2}{2 \times 9.8} = 0.09 \text{ ton}$$

따라서, 파랑과 흐름에 의해 어초에 작용하는 전 힘 F 는 다음과 같다.

$$F = F_{max} + F_u = 0.285 + 0.09 = 0.375 \text{ ton}$$

Table 4. Moment(M), axis stress(N) and shear force(τ) of reef surface in the square type artificial reefs

Reef surface place	Reef surface stress occurrence conditions	Momenr (M)	Axis stress (N)	Shear force (τ)
Corner section	Pressure	$(3/32) \times q l^2$ ton-m	Pressure $(9/8) \times q l$ ton	$(3/4) \times q l$ ton
	Tension	$(17/32) \times q l^2$ ton-m		
Center section	Pressure	$(1/16) \times q l^2$ ton-m	Tension $(3/16) \times q l$ ton	
	Tension	$(101/79) \times q l^2$ ton-m		

어초의 날림과 전도

식(18), (19)을 이용하여 계산하고, 검토를 행한다.

$$S_{FS}(\text{날림}) = \frac{3.36 \times 0.6(1 - \frac{1.03}{2.45})}{0.375} = 3.09$$

$$S_{FS}(\text{전도}) = \frac{3.36(1 - \frac{1.03}{2.45})}{0.375} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 5.17$$

세굴에 의한 어초의 안정

식(20)을 이용하여 계산하고, 검토를 행한다.

$$v_c = 0.48 \sqrt{\frac{9.8}{2.45}} \cdot \sqrt{(2.45 - 1.03) \times 2.0}$$

$$= 1.58 \text{ m/sec}$$

결 론

인공어초를 시설하는 해역은 대상생물의 서식조건과 물리, 화학적 환경을 고려하여 효과적인 어초어장이 형성되도록 해야 하며, 어업자들이 유효하게 이용할 수 있는 해역을 선정해야 한다. 대상생물의 발육 단계에 있어서 환경선택특성과 어장형성과의 관련성을 파악하여 시설위치를 선정하는 것이 중요하다. 또한, 종묘방류가 이루어지는 경우에는 방류, 육성, 자연으로의 자원침가 등의 조건을 고려해야 한다.

유동환경은 흐름이 다양한 곳이 바람직하고, I형 어종은 용승·혼합역이 접속하는 체류역, II형 어종은 먹이환경외에 수괴변동을 고려하여 수온, 염분의 일일 변동이 적은 곳, III형 어종은 일반적으로 수괴운동에 민감하므로 수괴범위가 큰 해역을 좋아한다.

현재 사각형 인공어초는 1개 단지(16ha)의 중앙에 단위어초 100개(800공m³)를 현수투하방법으로 시설되고 있다. 단위어초 구조는 I형 어종은 외관용적, II형 어종은 표면적이 III형 어종의 경우는 높이가 필요로 한다. I형, II형 어종은 주변면적을 넓게 분산 배치하는 것이 효과적이며, III형 어종의 경우는 어초 높이가 수심의 10~20%정도가 적당하다고 판단된다.

한편, 설치후 인공어초의 분산, 매몰에 대해서는 파랑 및 흐름이 원인이 된다. 이러한 원인에 의해 나타나는 현상은 두가지 형태로 구분할 수가 있다. 즉, 흐름이나 파랑의 외력에 의해 어초블록이 전도되는

경우와 기초지반이 외력에 의해 이동(세굴)되는 경우이다. 이러한 현상을 막기 위해서는 시설해역의 지반강도를 검토한 뒤 어초의 증량을 결정하는 것이 좋고, 연약지반에 시설하는 것을 피하도록 한다.

어초의 파괴는 낙하 충격하중에 블록강도가 견디지 못하는 경우와 콘크리트가 충분하게 마르지 않은 상태에서 하중을 주었을 때 발생한다. 콘크리트는 타설 후 저온, 급격한 온도변화, 건조, 하중, 충격 등의 유해한 영향을 받지 않도록 양성해야 한다. 콘크리트 노출면은 타설후 적어도 7일간은 습윤상태로 3일간은 10℃이상을 유지해야 한다.

인공어초가 자연해역에서 생물생산의 최적지로써 이용되기 위해서는 인공어초의 계획적 설계가 선행되어야 한다. 인공어초 설계시 기본적으로 검토되어야 할 사항을 정리하면 시공시와 설치후 모든 외력에 대해 견딜 수 있는 설계계산이 필요하고, 투하시 일시적인 외력에 대해서도 충분한 검토가 요망된다. 한편, 마모 및 부식 등에 대해서도 고려해야 할 사항이다. 설치후 인공어초가 제기능을 다하기 위해서는 파랑 및 흐름에 대한 안정성 확보가 요구되며, 특히 매몰에 주의를 기울여 설계와 적지선정을 해야 한다.

마지막으로 최근에 들어서면서 인공어초 시설사업이 확대되면서 여러형태의 인공어초가 개발되고 있으나, 설계과정에서 충분한 공학적 검토가 없어 안정성 문제가 많이 내포되고 있다고 생각된다. 인공어초의 기능유지 및 효과의 극대화를 위해서는 형태보다는 안정성에 대한 조건이 중요하다. 앞으로 개발과정에서 구조설계의 공학적 검토가 선행되어, 견실하고 안정성이 높은 인공어초가 많이 개발되어야 하겠다.

참고문헌

洪性完·岡本峰雄·今井健彦·不破 茂, 1996. 集魚裝置(FAD)に對するマジ幼魚の蠣集行動評價. 水産海洋研究, 60(4), 356~362.

洪性完·岡本峰雄·今井健彦·不破 茂·久保田和平, 1997. 集魚裝置(FAD)に對するブリ幼稚魚の蠣集評價. 日本水産學會, 63(2), 194~200.

洪性完·岡本峰雄·今井健彦·不破 茂, 1998. 大型沈

인공어초의 설계에 대한 이론적 고찰

- 下式人工プラント周邊の魚類映像. 日本水産學會, 64(6), 966~974.
- 洪性完・岡本峰雄. 1998. 浮沈式人工海底에 설치한 人工魚礁에 대한 魚群의 行動特性. 韓國漁業技術學會誌, 34(4), 378~385.
- 小川良徳. 1968. 人工魚礁とその効果(人工魚礁と魚付き). 水産増殖, 7, 3~21.
- 岡本峰雄. 1988. 天然礁の魚類相との比較からみたタイヤ魚礁の機能について. 日本水産學會, 55(2), 197~203.
- 佐藤 修. 1968. 人工魚礁に關する若干の問題點. 水産増殖, 7, 43~65.
- Helfman, G. S., 1981. The advantage to fishes of hovering in shade. *Copeia*, 2, 392~400.
- 中村 充. 1979. 流れ環境から見る人工魚礁漁場. 水産土木, 15, 5~12.
- 堺 告久. 1973. 魚礁での魚類の蝟集構造. 兵庫縣水試研報, 13, 31~33.
- 上北征男. 1989. 改訂第5版農業土木ハンドブック(漁場施設). 農業土木學會, 東京, 971~974.
- 宇野木早苗. 1992. 海洋技術者のための流れ學. 東海大學出版會, 212~237.