

천해 쇄파역에서 인공어초 안정성 계산에 대한 고찰

김창길† · 오태건* · 서성호* · 김대권* · 김병균** · 최용석**

(원고접수일 : 2009년 8월 12일, 원고수정일 : 2009년 9월 17일, 심사완료일 : 2009년 9월 22일)

Review of stability calculation of an artificial reef in the breaking wave zone of coastal waters

Chang-Gil Kim† · Tae-Gun Oh* · Sung-Ho Suh* · Dae-Kweon Kim* · Byung-Gyun Kim**
· Yong-Suk Choi**

Abstract : The current study reviews the formula used to calculate the stability of an artificial reef in the breaking wave zone of coastal waters. A comparison was carried out between the existing formula and a new formula that takes into account the water particle velocity in the breaking wave zone. Water particle velocity was analyzed using the Fluent (CADMAS-SURF) software program. The new formula took into various factors, including the difference in the drag coefficient due to the direction of the current and the ratio of distance between two reefs. The drag coefficient of the artificial reef due to the direction of the current was 0.84 when the distance ratio was 0.5. When the artificial reef was placed at 45 degree angle to the current, the product of the drag coefficient and the project area were 40 to 46 % greater than when the reef was placed at 90 degree angle. Our results regarding the stability of an artificial reef indicate that the new formula provides the designers of artificial reefs with a more rational and economic design rationale rather than the existing formula.

Key words : Artificial reef(인공어초), Artificial reef's stability(인공어초 안정성), Breaking wave zone(쇄파대), Water particle velocity(수립자속도), Drag coefficient(항력계수).

1. 서 론

인공어초는 대상으로 하는 생물을 위집 및 배양하기 위해 해수 중에 시설하는 구조물을 뜻한다 [1-3]. 인공어초가 본래의 목적대로 기능을 발휘하

기 위해서는 시설 후 매몰되거나 전도 및 활동(Sliding)이 일어나지 않아야 한다. 그러나 인공어초는 수심이 얇은 쇄파대에서부터 심해에 이르기까지 다양한 수심대에 시설되기 때문에 파랑 등 외부 유체력에 의해 전도, 활동, 쇄굴, 매몰 등을

† 교신저자(국립수산과학원 서해수산연구소, E-mail:cgkim0925@yahoo.co.kr, Tel: 032)745-0640)

* 국립수산과학원 남해수산연구소

** 국립수산과학원 서해수산연구소

야기하는 경우가 있다^[4-7]. 본 연구에서는 실제로 전도와 활동이 일어난 해역을 선정하여 쇄파대에서 이용되는 기존의 유체력 산정식과 미소진폭파 이론에 의한 유체력 산정식에 본 연구에서 제시한 쇄파대의 수립자 속도 값을 적용하여 구한 값을 각각 비교하였다. 계산과정에서 과소평가하거나 고려하지 않은 배치 간격비(어초의 유체력 작용 길이에 대한 어초간의 시설 간격)에 대한 항력계수의 차이도 함께 고려하였다. 이와 함께, 본 연구에서 제시된 결과를 이용하여 실제 사업 수행 시 현장에서 어초의 안정성을 간편하게 예측할 수 있도록 구조의 형상(항력계수)과 유체 작용면을 변수로 하여 수심에 따른 적정 어초의 중량을 제시하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구해역의 특성

본 연구에서 실험에 적용한 해역은 한국 동해안에 위치하고 있는 개방해역으로 서고동저의 지형적인 특성으로 인해 육지로부터 200m정도까지는 수심이 10 m내외를 유지하나 그 이후 일정한 비율로 급격히 깊어지는 양상을 보이며, 해안선이 매우 단조롭다^[8]. 또한 일반적으로 동해는 조석 간만의 차이가 약 0.5 m내외로 조석류가 미약하여 인공어초에 작용하는 외력의 대부분은 파랑에 의해 좌우되는 해역이라고 할 수 있다. 인공어초의 안정성에 대한 파랑 외력은 한국해양연구원(2005)에서 발간한 “전해역 심해설계과 추정보고서 II”에 수록된 50년 빈도 주기의 설계파를 이용하였다^[9]. 분석 결과, 삼척해역에서의 인공어초 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 파향으로는 동북동방향이고, 파고와 주기는 각각 8.1m와 12.8s로 나타났다. 따라서 인공어초의 파랑에 대한 안정성분석에 이들 값을 사용하였다.

2.2 실험에 이용된 어초 및 항력계수 산정

2.2.1 항력계수의 산정에 사용된 어초 형상

어초의 전도, 활동 등에 대한 안정성은 유체력 및 어초에 작용하는 유체력의 면적 그리고 저질과 항력계수 등에 의해 영향을 받는다. 본 연구에 이용된 어초는 요철형어초로 크기는 2.5× 2.0× 1.5 m무게는 4.185톤이다(Fig. 1).

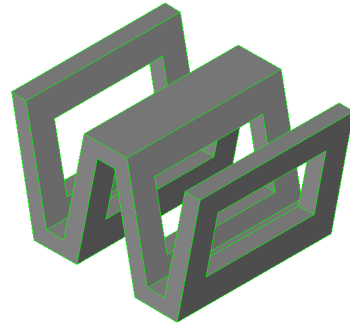


Fig. 1 Artificial reef used to calculate the drag coefficient in numerical experiment

2.2.2 항력계수의 산정을 위한 수치모형 및 기본 방정식

어초주변에서 생성되는 흐름 및 항력계수를 산정하기 위하여 FLUENT.Inc에서 개발된 범용CFD 코드인 FLUENT 6.3.26 패키지를 사용하였다. 또한, 난류를 모델링 하기위해, 이방정식모형(Two equation model)인 realizable $k-\epsilon$ 모형을 사용하여 유동을 해석하였다. 유동해석 후에는 어초에 작용하는 유체력(F)을 근거로 하여 항력계수를 산정하였다.

2.2.3 어초의 배치 및 계산조건

본 연구에서는 흐름방향에 대한 요철형어초의 정면 및 측면 그리고 45° 방향에 대하여 다양한 유속을 적용하여 실험하였다. 또한 어초간의 간격에 대한 유체의 간섭정도를 파악하기 위하여, 흐름에 대한 어초의 정면에 대해 배치간격(D)을 어초 폭(B)의 0.25, 0.5, 0.75, 1.0배로 설정하여 각 간격에 대한 유체력의 간섭여부로 인한 항력계수의 변화를 분석하였다. 어초의 배치 및 격자 생성도는 Fig. 2와 같으며, 실험조건은 Table 1, 2, 3과 같다.

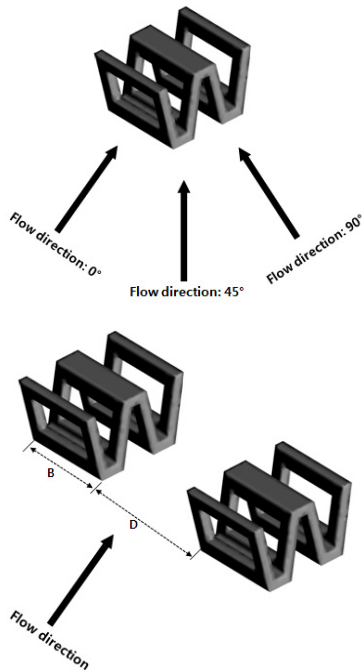


Fig. 2 Pictures showing change in the project area of the artificial reef to each flow direction (0°, 45°, 90°), and the definition of distance ratio (D/B) between artificial reefs

Table 1 Reynolds numbers and flow-direction (0°, 45°, 90°) conditions used to calculate the drag coefficient of the artificial reef

Velocity(m/s)	Re No.	Flow direction(°)
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	0
2.5	3.8×10^6	
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	45
2.5	3.8×10^6	
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	90
2.5	3.8×10^6	

2.3 수치파동수로에 의한 수립자 속도 산정

2.3.1 수치파동수로 및 기본 방정식

본 연구에서는 어초의 전도 혹은 활동에 대한 안정성을 계산함에 있어 上北(1985)^[10]가 제안한

쇄파대에서 이용되는 기존의 유체력값과 수치파동수로에서 구한 쇄파대의 수립자 속도 값을 적용하여 구한 유체력을 각각 비교하기위해 수치파동수로 실험을 수행하였다. 수치파동수로는 CADMAS-SURF를 이용하였다. CADMAS-SURF는 기본 방정식으로서 2차원 비압축성유체의 연속방정식 및 Navier-Stokes방정식을 이용한 것으로 각각의 식들은 유체중의 실제구조물의 형상을 반영하기 위하여 Porous모델을 도입하여 형상의 근사정도를 높였다.

Table 2 Reynolds numbers and the distance ratio (D/B) conditions used to calculate the drag coefficient of the artificial reefs to one-direction flow (0°)

Velocity(m/s)	Re No.	Distance ratio(D/B)
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	0.25
2.5	3.8×10^6	
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	0.5
2.5	3.8×10^6	
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	0.75
2.5	3.8×10^6	
0.5	7.6×10^5	
1.0	1.5×10^6	1.0
2.5	3.8×10^6	

그리고, 본 수치모형에 사용된 VOF법에는 셀에서의 유체존재 여부에 대한 함수를 평균화한 F의 이류방정식과 유체의 자유수면에 관련된 Flag를 축차계산 함으로써 자유표면을 계산했다.

2.3.2 연구해역의 경사도

수치실험에 적용될 수심은 대부분의 인공어초가 설치되어 있는 50m까지로 설정하였다. 삼척항에서 수심 50m까지의 거리는 해안선으로부터 약 2400m였다. 이 값을 참고하여 경사도를 산정한 결과, 0.0207로 추산되었으며, 이 값을 수치실험에 이용하였다.

Table 3 Numerical experiments conditions used to calculate the drag coefficients of the artificial reef

Method	Conditions
Solver	pressure Based, SIMPLE, 3D model
Formulation	Implicit
Time	Steady
Turbulence Model	Realizable $k-\varepsilon$ model
Near-wall treatment	Standard wall function
Model constant	Cmu : 0.09
	C1-epsilon : 1.44
	C2-epsilon : 1.92
	TKE Prandtl Number : 1
Boundary conditions	Input : velocity inlet
	Output : Pressure outlet (0 pascal)
	Far boundary : Symmetry

2.3.3 연구해역에 대한 원형과 모형의 상사

수치실험에 앞서 수치파동수로의 길이와 수심을 구성하기 위하여 실물과의 상사성을 고려하였다. 본 연구는 파랑에 의한 유동으로서 유체가 중력의 지배하에 있다고 판단되므로, Froude상사법칙을 이용하여 수치파동수로를 구성하였다. Froude상사법칙은 식 (1)과 같다.

$$\frac{(T_m, u_m)}{\sqrt{g l_m}} = \frac{(T_p, u_p)}{\sqrt{g l_p}} \quad (1)$$

여기서, T_m 는 모형의 주기, T_p 는 원형의 주기, u_m 은 모형의 x방향 유속, u_p 는 원형의 x방향 유속, g 는 중력가속도, l_m 는 모형의 대표길이, l_p 는 원형의 대표길이 이다.

본 연구에서는 실물의 1/50로 모형을 축소하였다. 따라서, 2.1항을 참고하여 모형의 파고를 계산하면 0.16 m가 되며, 이에 따른 주기는 1.80 s가 된다.

2.3.4 수치파동수로의 구성 및 계산조건

본 연구에서 사용된 수치파동수로의 크기와 계산 조건은 Fig. 3 및 Table 4와 같다.

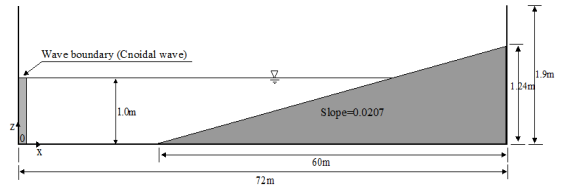


Fig. 3 Sketch of wave breaking test used to calculate water-particle velocity (Unit : m)

Table 4 Calculation conditions of CADMAS-SURF used to calculate water-particle velocity

Items	Conditions
x	0.02m
y	0.02m
t and total calculation time	0.001s, 160s
Wave height	0.16m
Period	1.80s
Wave generation	Cnoidal wave
Turbulence model	standard $k-\varepsilon$
Scheme	DONOR-0.5
Version	4.0
Observation points of waterelevation	x=38.5, 43.3, 48.1, 53.0, 57.8, 62.6, 67.4m
Observation points of water particle velocity	x=53.0, 57.8, 62.6, 67.4m

3. 결 과

3.1 실험해역에서의 인공어초 안정성 조사 결과

강원도 삼척시 임원해역에 시설된 인공어초는 Fig. 4에서와 같이 매몰되거나 전도 혹은 활동이 야기되어 있었다. 이와 같이 어초가 당초의 목적대로 안정된 상태를 유지하고 있지 못한 것은 앞서 서론에서 언급한 바와 같이 시설 시 파랑 등에 의한 착지의 불안정 혹은 어초의 안정성 확보를 위한 계산 과정에서의 제 조건들을 정확히 고려하지 못한데서 기인한다고 할 수 있다^[3]. 그 중에서도 쇄파대에서의 수립자 속도의 적용, 혹은 어초의 배치 형태에 따른 항력계수의 차이를 고려했는지 등에 대한 분석이 미흡했다고 생각된다.



Fig. 4 Artificial reefs deployed at samcheok coastal waters in Korea (Artificial reefs were installed at a depth of 1~12 m)

3.2 항력계수 산정

어초에 작용하는 투영단면의 변화가 항력계수에 어떠한 변화를 가져오는지를 파악하기 위해 연구에 사용된 요철형어초를 흐름방향에 대하여 각각 0°, 45°, 90°로 배치 한 후(Fig. 1), 각각의 투영단면에 대한 항력계수를 산정하였다. Fig. 5에서와 같이 투영단면에 따른 항력계수의 차이가 명확하게 나타났으며, 항력계수가 가장 크게 나타난 단면은 흐름 방향에 90°로 위치한 단면이었다. 반면에 0° 방향으로 배치된 경우에는 가장 작은 항력계수 값을 보였는데, 이는 90°로 배치된 어초의 항력계수에 비해 약 50~60%정도 적은 값이다.

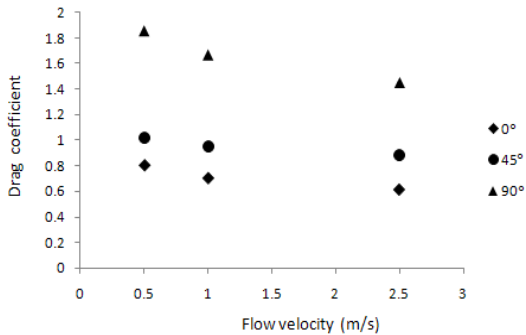


Fig. 5 Changes in the drag coefficients of the artificial reef according to flow-direction and Reynolds number

한편, 어초의 배치형태에 따른 항력계수의 차이와 관련하여, 어초간의 간격으로 인한 유체의 상호 간섭과 영향이 항력계수에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하였다. 흐름방향 0°에 대하여 어초의 길이(폭) 방향으로 어초를 병렬 배치한 경우의 항력계

수는 Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이, 간격비가 0.5일 때 가장 큰 값을 나타내었다. 간격비가 0.25, 0.75, 1.0일 때는 이들 모두 거의 비슷하게 나타났으며, 이들 3개의 간격비에 대한 항력계수 값은 간격비 0.5의 항력계수 값에 비해 7~10%정도 낮게 나타났다. 또한, 병렬배치 된 어초의 경우 또한 마찬가지로, 레이놀즈수가 높을수록 항력계수 값은 감소하는 것으로 나타났다.

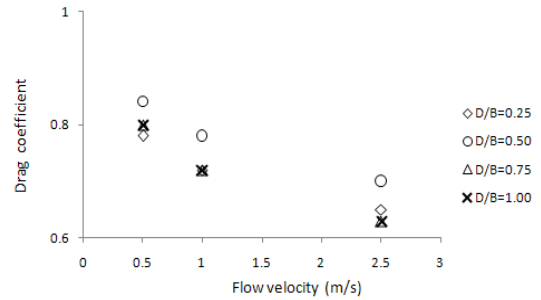


Fig. 6 Changes in the drag coefficients of the artificial reef according to the distance ratio

어초에 작용하는 유체력은 밀도가 일정하다고 가정한다면 유속과 항력계수 및 투영 단면적의 함수가 된다. 또한 유속이 일정하다고 가정한다면, 오직 항력계수와 투영단면적 만의 함수가 된다. Fig. 7에서는 투영단면적과 앞서 산출된 항력계수 값을 곱하여 요철형어초의 유체력에 대한 단면특성을 비교하였다. 흐름에 대한 전 투영 단면적 값은 0°, 45°, 90°의 순으로 각각 6.72 m², 6.37 m², 2.07 m²이었으며, 산출결과, 흐름방향에 대하여 45°인 경우가 90°인 경우에 비하여 40~46%가량 큰 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 단면특성 값이 거의 2배 이상이므로, 유속과 밀도가 일정한 경우에는 유체력에서 2배 정도 차이가 야기됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 인공어초의 배치상태에 따라 어초가 받는 유체력이 증대되어, 어초의 전도 및 활동이 야기 될 가능성이 있음을 시사하고 있다. 따라서 어초의 안정성 계산 시 흐름 방향에 대해 0° 및 90°로 작용할 때의 항력계수는 물론 흐름방향에 대하여 45°로 작용할 때의 항력계수도 함께 검토하는 것이 바람직하다고 생각된다.

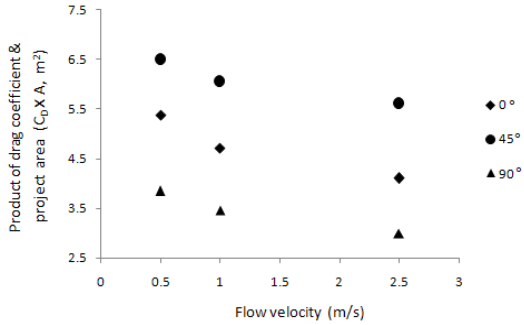


Fig. 7 Changes in the drag coefficients and the project area of the artificial reef against flow-direction and Reynolds number

3.3 수치파동수로에 의한 수립자 속도산정 결과

수치파동수를 이용하여 수립자 속도를 실험한 결과, 0.16m로 시작된 파고는 x방향으로 거리가 증가함에 따라 약간씩 증가하는 양상을 보이고, 수심이 얇아짐에 따라 파장의 감소와 더불어 붕괴파의 형태로 쇄파가 진행되는 현상이 양호하게 재현되었다. 53m부근에서는 파고가 0.196m로 약 18%정도 파고가 증가하며, 이후 파고는 급속히 감소하여 x=67.4m에서는 0.08 m이하로 낮아진다 (Fig 8).

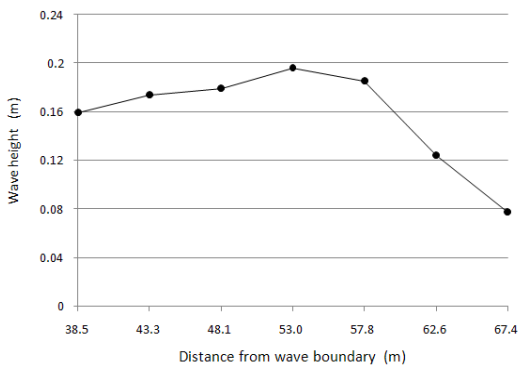


Fig. 8 Changes in wave height at each observation points. Wave height was calculated based on the value in Table 2

따라서 파형경사는 (1) 식으로 고려하였을 때, 수심 20m(x 방향으로부터 53m 되는 지점의 수심)에서 가장 커지며, 그 이후로는 쇄파가 진행되

기 시작하므로, 인공어초의 안정성을 고려하기 위한 수립자속도의 계산은 쇄파로 인해 이론적으로 계산이 곤란한 수심 20m이천 해역을 대상으로 하여 수치실험으로서 x방향 수립자 속도를 계산하였다. Fig. 9를 살펴보면, x방향이 증가함에 따라 수립자 속도는 증가함을 알 수 있다. 바닥으로부터의 수심이 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1m는 (1) 식으로 환산해 보면 바닥으로부터 각각 1, 2, 3, 4, 5m이고, 바닥과 가까운 쪽이 수립자 속도가 느린 것으로 나타났다. 각각의 층별 유속분포는 파형경사가 가장 큰 20m의 수심대에서 가장 적었고, 이후 점점 증가하기 시작하여, 수심 10m에서는 수평 유속의 차이가 20m부근에 비해 27%증가한 값을 보였으나, 5m부근에서는 약간 감소되는 형태를 나타냈다. 수립자 속도에 대한 바닥의 영향은 수심이 알아지면서 점점 커지는데, 수심 20~15m의 층별 수평유속 차이는 수심 5~0m에서의 값과 약 4배 정도의 차이가 있었다.

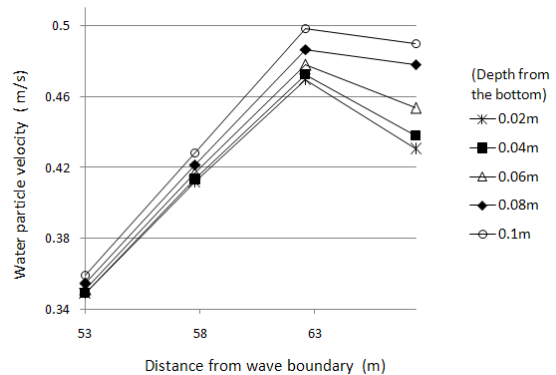


Fig. 9 Water particle velocity at each observation points by water layer

3.4 쇄파대에 대한 수치실험 값과 기존 이론식의 유체력 비교

본 연구에서는 미소진폭파 이론에 의한 수립자속도 대신 파랑으로 인해 발생하는 쇄파대 내의 유체력 값에 대해, 수치실험에서 계산된 수립자속도 값을 이용하여 구하였고, 이것을 기존 쇄파대 이론식에 의한 값과 비교하였다. 일반적으로 수중구조물에 작용하는 유체력은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$F = C_D A \rho \frac{V_w^2}{2} \quad (2)$$

여기서 C_D 는 어초의 항력계수, A 는 흐름의 연직방향에 대한 어초의 투영단면적, ρ 는 유체의 밀도, V_w 는 해양에서 발생하는 파랑의 수립자 속도이다.

따라서 미소진폭파 이론에 의한 파랑의 수립자 속도는 식 (3)으로서 표현 할 수 있다. 식 (3)은 주기에 대한 케도원주의 비이며, 물 표면에 해당되는 수립자 속도이다. 주기가 일정할 경우, 수립자 속도는 오직 파고의 크기에 비례하며, 저면마찰의 간섭을 받지 않고 수립자가 규칙적인 케도운동을 하는 심해파에 적합하다고 할 수 있다. 그러나 쇄파가 진행이 되어, 파가 부서지기 시작하면 수립자는 더 이상 케도운동을 하지 않기 때문에 식 (3)식을 이용하여 수립자 속도를 산정 할 수 없다.

$$V_w = \frac{\pi H}{T} \quad (3)$$

여기서, π 는 원주율, H 는 파고, T 는 주기이다.

이에 대한 보완으로서 上北(1985)는 쇄파대에 대한 수립자 속도는 단파(段波)형태로 전달된다고 가정하였다^[10]. 그는 단파가 전달 될 때의 수위차이를 쇄파파고로 가정하였고, 쇄파대 내에서의 유속분포는 단면형상이 일정하다는 가정 하에서, 오직 쇄파파고 만의 함수로 정의하여, 쇄파대 내의 유속 분포를 식 (4)와 같이 유도, 제안하였다.

$$v_b^2 = 0.61 \cdot g \cdot H_b \quad (4)$$

여기서, v_b 는 쇄파대에서의 유속, g 는 중력가속도, H_b 는 쇄파파고이다.

식 (4)를 유체력 산정을 위하여 식 (2)에 대입하여 정리하면 식 (5)가 되고 식 (5)는 현재까지 쇄파대 내에서 인공어초의 안정성을 파악하는데 있어 가장 널리 이용되고 있는 식이다.

$$F = 0.31 C_D \alpha A W_o H_b \quad (5)$$

여기서 C_D 는 항력계수, A 는 파의 진행방향에 수직한 연직면의 투영면적, W_o 는 해수의 단위중량, H_b 는 쇄파파고, α 는 노출계수(일반적으로 시설전면에서는 1.0, 그 이외에서는 0.5를 사용).

그러나, 인공어초의 안정성을 계산하기 위하여 식 (5)를 사용하는 경우에는, 쇄파의 거동이 단파의 형태를 지녀야 한다는 한계점이 있다. 파의 형성기구로부터 살펴보았을 때, 본 연구에서 상정한 50년 주기 설계파는 태풍을 고려하여 산정한 풍파로서, 본질적으로 유체가 주기성 운동을 하는 진동파에 속한다. 그러나 단파는 조석보어(bore)와 같이 파가 진행하는 방향으로 유체의 수송이 뒤따르는 이동파로서 수립자의 물리적인 거동이 진동파와는 상이하^[11]. 다만, 이동파라 할지라도 완전 쇄파가 되어 수립자가 더 이상 진동하지 않고 한 방향으로만 진행한다면 단파이론을 적용 할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 파랑이 급격한 경사 등을 만나서 쇄파점에서 완전히 쇄파가 되어 파랑이 사면을 치고 올라가는 현상이 발생하는 구간에서는 적용성이 있다고 할 수 있다. 또한, 上北(1985)는 해저면을 무한 평탄면으로 가정하여 식 (5)를 유도하였고, 저면 마찰계수를 고려하지 않았다. 따라서, 완만한 경사면과 저면마찰에 의해 상당히 먼 거리를 진행하며 자연스럽게 에너지가 분산되는 경우의 쇄파를 붕괴파라고 하는데^[12], 이와 같은 경우에는 파가 완전히 소멸되기까지 상당한 거리에 걸쳐 수립자 속도는 상·하의 주기성 운동을 하게 되므로 식 (5)를 적용하였을 때는 수립자 속도가

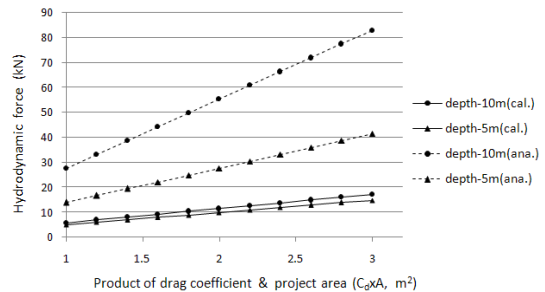


Fig. 10 Comparison of the hydrodynamic force acting to drag coefficients and the project area of the artificial reef at a depth of 5 and 10m

과다하게 산정되어 인공어초의 안정성 설계에 있어 과다설계가 될 가능성이 있다. Fig. 10은 쇄파대에 대하여 수치실험으로부터 산정된 수립자 속도 값을 식 (2)에 대입하여 계산 한 것과 기존의 이론 식인 식 (5)를 일정 단면에 대하여 각각 비교한 것이다.

Fig.10에서 알 수 있는 바와 같이 단파이론을 적용한 식 (5)의 경우에는 파고 값에 따라 유체력이 매우 커짐을 알 수 있다. 따라서 식 (5)를 적용하는 경우에는 완전 쇄파가 되어 일양류의 흐름이 발생된 후의 수심대의 값을 채택하여야 하며, 쇄파가 되기 시작하는 지점에서는 실험값을 이용하여 수립자속도를 산정하여 얻어진 값을 식 (2)에 대입하여 사용하는 것이 인공어초의 설계에 있어 경제적이고 합리적이라고 할 수 있다.

3.5 50년 주기 설계파에 의한 인공어초 안정성 제시

수치실험으로 계산된 쇄파대의 수립자 속도를 이용하여 식 (2)와 어초의 활동을 식 (6)을 이용, 삼척시 임원해역의 50년 주기 설계파를 이용하여 인공어초의 안정성을 검토하였다.

식 (2)에서의 V 는 해양에서 발생하는 최대 조류 및 파랑의 수립자 속도의 합이며, 본 연구에서는 동해안 최대 조류속으로서 1 m/s를 상정하였고, 파랑의 수립자 속도는 수치실험으로 계산된 값을 사용하였다. 식 (2)으로 구해진 유체력은 안정성 여부를 검토하기 위하여 사용되었다. 일반적으로 해중에 투하된 구조물은 전도보다 활동에 훨씬 취약하며, 활동에 안정하면 전도에도 안정하므로 본 연구에서는 활동력을 고려하여 계산하였다. 활동력은 유체력에 대한 지반마찰력의 비로서 다음의 식 (6)으로써 계산된다.

$$W > \frac{F}{\mu \left(\frac{\sigma}{w_o} - 1 \right)} \quad (6)$$

여기서, W 는 어초체중량, μ 는 어초와 지반의 마찰계수, σ 는 어초의 단위중량, w_o 는 해수의 단위중량이다.

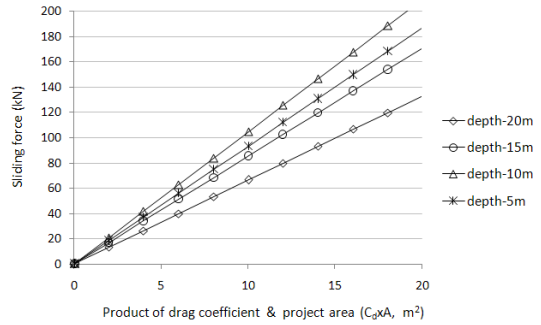


Fig. 11 Sliding force against the drag coefficients and the project areas of the artificial reef at each water depth

마찰계수는 동해안 대부분에 널리 분포하는 사질 지반과의 관계인 0.6을 사용하였으며, 어초의 단위중량은 일반적으로 많이 사용하는 재료인 콘크리트를 상정하여 2.6t/m³을 사용하여 계산하였다. Fig. 11은 식 (6)을 사용하여 삼척해안의 수심에 따른 어초의 활동력을 흐름에 저항하는 어초의 단면의 특성인 항력계수와 투영단면적의 곱과의 관계를 기술한 것이다. 어초시설 예정지에 콘크리트로 제작된 어초의 경우 활동에 대해 안정한 조건을 확보하려면, 어초의 항력계수와 투영단면적을 곱한 값을 x축으로 하였을 때, 각각의 수심대별로 기술된 선보다 위쪽에 있어야 활동에 대한 안정성을 확보할 수 있으며, 각 수심대에서 도시된 선 근처로 어초를 설계 할 수 있다면, 과다설계를 피하면서도 설계주기 파랑에 대해 안정성을 확보한 인공어초를 시설 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

요철형어초의 유체력에 대한 단면특성(항력계수와 투영면적의 곱)을 비교한 결과, 흐름에 대한 투영 단면적 값은 0°, 45°, 90°의 순으로 각각 6.72m², 6.37m², 2.07m²이었으며, 흐름방향에 대하여 45°인 경우가 90°인 경우에 비하여 40~46%가량 큰 단면특성 값을 나타냈다. 수립자 속도에 대한 바닥의 영향은 수심이 얕아지면서 점점 커지는데, 수심 20~15m의 층별 수평유속 값의 차이는 수심 5~0m에서의 값과 약 4배 정도의

차이가 있었다. 쇄파대에 대한 수치실험 값과 기존 이론식의 유체력을 비교한 결과, 쇄파대 이론식에 의한 값, 즉 단파이론을 적용한 식의 경우에는 파고 값에 따라 유체력이 매우 커져 유체력을 과대평가할 수 있으나, 미소진폭파 이론에 수치실험에서 계산된 쇄파대의 수립자 속도 값을 적용하여 계산한 값은 인공어초의 설계에 있어 경제적이고 합리적이라고 할 수 있다.

그러나, 본 연구에서는 파랑으로 인한 수립자 속도를 계산하기 위하여 2차원 수치파동수로를 이용하였으나, 실제 해양에서는 파랑이 3차원적으로 거동하므로, 파랑의 수치모의를 3차원으로 확장할 필요가 있으며, 연구결과를 실무에서 보다 편리하게 이용하기 위해서는 다양한 어초에 대한 항력계수 및 단면계수를 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] C. G., Kim, "Artificial reefs in Korea", Amer. Fish. Soci. Vol. 26, No. 12, pp. 15-18, 2001.

[2] C. G., Kim, H. S. Kim, C. I. Baik, H. Kakimoto and W. Seaman, "Design of artificial reefs and their effectiveness in the fisheries of eastern Asia", Amer. Fish. Soc. Symp. 49, Vol. 2, pp. 933-942, 2008a.

[3] C. G., Kim, H. S. Kim, "Post-placement management of artificial reef in Korea", Amer. Fish. Soc., Vol. 33, No. 2, pp. 61-68, 2008b.

[4] 국립수산과학원, 2004 강원도 인공어초 어장관리사업 보고서, pp. 22-34, 2006.

[5] 국립수산과학원, 2006 전라남도 인공어초 어장관리사업 보고서, pp. 69-75, 2007.

[6] 국립수산과학원, 2006 제주도 인공어초 어장관리사업 보고서, pp. 41-95, 2007.

[7] 국립수산과학원, 2007 강원도 인공어초 어장관리사업 보고서, pp. 26-51, 2008.

[8] 국립건설연구소, 삼척항 자료조사 보고서 : 해안표사수리모형시험 기초자료, pp. 1-10, 1970.

[9] 한국해양연구원, 전해역 심해설계과 추정보고서 II, pp. 137-142, 2005.

[10] 上北征男, 明田定滿, "碎波帯における轉石の安定に関する實驗敵研究", 水工研技報, 水産土木 6号, pp. 141~149, 1985.

[11] 김경호 역, 동수역학과 파동이론의 기초, 해론, pp. 316, 1998.

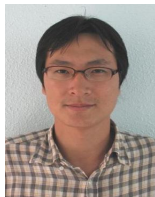
[12] 이희운 역, 해안-항만, 지양사, pp. 98, 2000.

저 자 소 개



김창길(金昌吉)

동아대학교 대학원 졸업(공학석사), 일본동북대학교 대학원 졸업(토목공학전공, 공학박사), 1976년~현재 국립수산과학원 서해수산연구소 증식과 재직, 관심분야: 인공어초에 의한 자원조성, cgkim0925@yahoo.co.kr.



오태건(吳兌建)

여수대학교 해양토목공학과졸업, 여수대학교 해양공학과(공학석사), 2007~현재 전남대학교 해양공학과 박사과정, 2004년~현재 남해수산연구소 증식연구팀, 관심분야: 인공어초어장의 유체역학적 거동, 해양수치모델링



서성호(徐聖昊)

여수대학교 해양토목공학과졸업, 전남대학교 대학원 졸업 (토목공학, 공학박사), 2004년~현재 국립수산과학원 남해수산연구소 증식연구팀 재직, 관심분야: 인공어초에 의한 자원조성



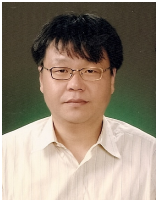
김대권(金大權)

1956년 8월생. 2006년 제주대학교 수산생물학과 졸업(이학박사). 1976~현재 국립수산과학원남해수산연구소 증식과 근무. 관심분야: 인공어초에 의한 자원조성



김병균(金炳均)

군산산업대학교 졸업, 군산대학교 대학원 졸업(수산학박사), 1976년~현재 국립수산과학원 서해수산연구소 재직, 관심분야: 수산자원조성, 양식기술개발



최용석(崔容錫)

서울대학교 대학원 졸업(이학석사), 서울대학교 대학원 졸업(이학박사), 1993~현재 국립수산과학원 서해수산연구소 증식과 재직. 관심분야: 인공어초에 의한 자원조성