Bull. Korean Fish. Soc. 27(5), 605~612, 1994 韓水誌, 27(5), 605~612, 1994

착저식 인공어초에 작용하는 파력특성에 관한 연구

류청로 · 김현주
부산수산대학교 해양공학과

A Study on the Characteristics of Wave Forces on Artificial Reefs

Cheong-Ro RYU and Hyeon-Ju KIM
Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

The methods to determine the hydrodynamic coefficients for the fixed type artificial reefs which were constructed to control ecological system in coastal waters are compared and discussed by model test results. To calculate the wave forces, least square method show good agreement with the experimental results and more stability than maximum force component method or Fourier decomposition method. This modified least square method of weighting the square of measured force turned out to be the most feasible method for maximum force. Using the feasible method, hydrodynamic characteristics for artificial reefs on uniform slopes offshore and breaking zone were studied. They were properly related to Keulegan-Carpenter's number and found larger than previous results. Wave force coefficients for artificial reefs around breaking zone were distributed from 1.5 to 2.5, and the mean value was 2.0. Drag force components were more in evidence than inertia force in maximum force which is important parameter to evaluate stability for high-permeability structures. A formula for the calculation of the maximum force for artificial reefs design is proposed, using structural dimension, water particle velocity and Keulegan-Carpenter's number.

서 론

임해공업의 발달과 도시화 및 연근해 어장의 남획, 연안의 난개발 등에 따른 연안 해역의 오염과 황폐화가 가속되고 있다. 이로 부터 어장의 보호, 개량 등 연안어장의 생산성 향상을 위한 해역 생태계 제어 시스템의 확립이 요망되고 있다. 인공어초는 고정식 생태계 제어 시설물로서 어장 조성 및 개량 뿐 아니라 연안역의 다목적, 다기능화에 의한 해역 고도 이용의 핵심적인 요소시설이다. 인공어초의 효과에 대한 연구는 柿元(1984), 수진연보(1992) 등에 의해 비교적 많은 연구 성과가 보고되어 있다. 이러한 효과를 극대화시키기 위해서는 해역의 수리학적 특성, 대상종 및 그 생태학적 특성을 고려한 적정어초의 선정 및 설계 배치가 합리적으로 고려되어야 한다. 한편, 착저식 어초의 기능 극대화와 관련한 구조물의 안정성 해석은 작용외력의 합리적인 평가와 지반의 동적 거동의 해석이 수반되어야 한다. 착저식 인공어초가 설치후 받게 되는 유체력의 산정 및 특성에 관한 연구로는 大西 等(1983), 上北 等(1988), 松見(1991) 등의 연구가 있다. 大西 等의 연구는 정상류 중에서 3종의 어초(FP block, convex block, block)에 대한 유체력 측정 실험으로부터 레이놀드수(Re=UD/ν)에

따른 항력계수 C_D의 변화특성을 정리한 것이고, 上北 等은 정상류, 파동류, 파 흐름장을 대상으로 무한유체장에서의 인공어초에 대한 파력 특성을, 松見는 파랑장에서의 착저어초를 대상으로 어초 부재 및 어초 상호간의 간섭효과, 저면효과 등을 고려한 파력특성을 논의하고 있다. 그러나, 이러한 연구는 Morison식의 적용한계와 관련한 파력계수의 산정법에 대한 검토 없이 정리된 결과로서 이에 대한 합리적인 평가와 검토가 요망되고 있다. 또한, 인공어초의 안정성 평가에 있어서 중요한 외력인자인 최대파력 특성에 대한 논의도 중요하나 찾아보기 힘들다.

본 연구에서는 Morison식을 사용한 파력산정에서 가장 중요한 문제의 하나인 파력계수 산정법의 비교 · 검토를 통한 합리적인 산정법의 제안 및 개선과 이를 이용하여 인공어초에 대한 파력 특성을 논의하고자 한다. 또한, 쇄파대 부근에서의 파력 특성에 대해 논의하고, 안정성 검토에 필요한 최대파력의 특성을 실험결과를 기초로 논의하고 그 산정식을 제시하고자 한다.

수리실험 및 해석

2.1. 영향인자 및 수리실험 조건

입사파장에 비해 구조물의 크기가 작은 착저식 인공어초에 작용하는 파력 F는 다음의 물리량에 의해 지배되는 것으로 고려할 수 있다.

$$F=\phi(u_m, D, d, T, \mu, \rho, g, t, \varepsilon,\ldots) \quad (1)$$

여기서, F는 파력, u_m는 유속 진폭, D는 어초 대표길이, d는 정수심, T는 주기, μ는 분자점성계수, g는 중력가속도, t는 시간, ε은 어초의 체적공극율이며, 그 좌표계는 Fig. 1과 같다. 이를 차원해석하면 어초에 작용하는 무차원 파력 $F/\rho u_m^2 D^2$는 다음의 6개 무차원 물리량에 의해 지배된다.

$$\frac{F}{\rho u_m^2 D^2}=\phi'\left(\frac{u_m T}{D}, \frac{u_m D}{\nu}, \frac{d}{gT^2}, \frac{D}{d}, \frac{t}{T}, \varepsilon\right) \quad (2)$$

여기서, ν는 물의 동점성계수이며 식(2)의 우변 제1항은 K.C수(Keulegan-Carpenter수), 2항은 Re수(Renolds수), 3항은 수심파장비, 4항은 어초길이수심비, 5항은 무차원 시간, 6항은 공극율을 나타낸다.

상기의 차원해석 결과와 수리실험장치의 조파특성을 고려하여 수리실험 조건은 다음과 같이 결정하였다. 파고는 H=2~12*cm*, 주기는 T=0.6~3.0 sec, 대표길이는 D=6~8*cm*, 정수심은 d=20~40 *cm*이며, 이를 차원해석 결과인 무차원 파력에 대한 영향인자의 값으로 나타내면 Table 1과 같다.

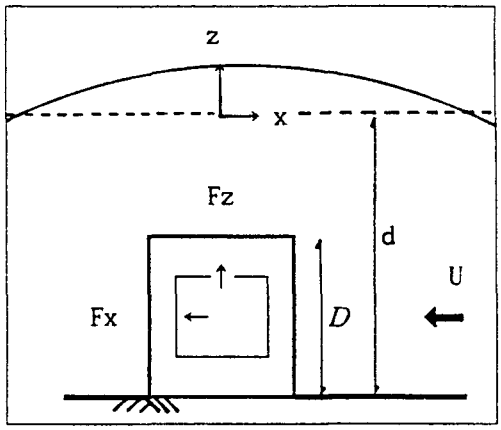

Fig. 1. Definition sketch of wave force on artificial reefs.

Table 1. Experimental conditions

d/gT^2	0.025~0.256
D/d	0.150~0.600
u_mT/D	1~11
u_mD/ν	4000~16000

2.2 유체력(파력)의 측정 및 해석

수리실험은 Fig. 2와 같은 2차원 조파수조에서 일정경사면(1/10) 상의 인공어초에 대한 파력특성

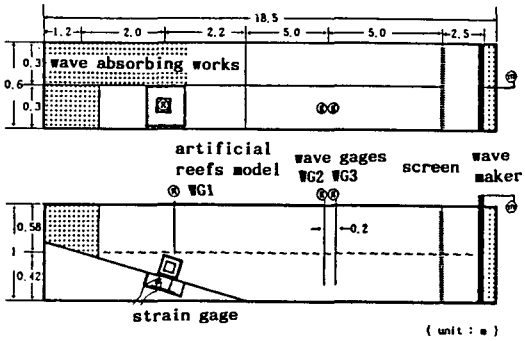

Fig. 2. Layout of wave flume and arrangement of experimental apparatus.

실험으로 수행되었고, 일정경사면에서 수위를 조정하여 쇄파시의 파력 특성도 정리하였다. 수위변동은 전기용량식파고계(CH-305)로 측정하고, 파력은 strain gage를 이용하여 측정하였다. 파력측정장치는 방수용 스트레인게이지를 강화플라스틱으로 된 탄성판에 부착하여 구성하였고, 파력에 의한 판의 변형을 측정하여 파력으로 환산하였다. 파력측정장치의 정하중(외력)에 대한 스트레인 게이지의 변형치의 관계로 부터, 파력측정장치의 선형성을 확인하고, 어초에 대한 파력을 측정하였다. 측정은 조파 안정후 5파 분의 수위, 파력을 측정하였고, 출력신호는 A/D변환장치를 통해 1/35 sec의 시간간격(dt)으로 디지탈화하여 컴퓨터에 기록후 해석하였다.

여기서, 유체운동과 작용유체력의 특성을 비교해석하기 위해서는 수위로 부터 수립자 속도 및 가속도를 산정하는 것이 필요하다. 미소진폭파 이론에 의해 이러한 계산을 행할수 있으나, 수심에 따른 파랑의 비선형성, 불규칙파에 대한 적용성 등을 고려하여 Koyama & Iwata(1985)의 수정변환법에 의한 수립자속도 산정법을 이용하였다.

$$U(t)=\frac{2\pi}{T}\frac{\cosh\kappa}{\sinh\kappa[d+\eta(1-s/(d+\eta))]}\eta(t);\ \eta>0 \quad (3)$$

$$U(t)=\frac{2\pi}{T}\frac{\cosh\kappa s}{\sinh\kappa d};\ \eta\leq 0 \quad (4)$$

여기서, $\eta(t)$는 평균수면으로 부터의 수위, κ는 파수, s는 정수면을 기준으로 한 어초 중심부의 z방향 좌표값를 나타낸다.

한편, 수립자 속도를 식(5)과 같이 Fourier분해하여 표현할 수 있으므로, 수립자 가속도는 그 Fourier계수를 이용하여, 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(t)=U_{C0}+\sum_{n=1}^{\infty}[U_{Cn}\cos(\omega_n t)+U_{Sn}\sin(\omega_n t)] \quad (5)$$

$$\frac{\partial U(t)}{\partial t}=\sum_{n=1}^{\infty}[-\omega_n U_{Cn}\sin(\omega_n t)+\omega_n U_{Sn}\cos(\omega_n t)] \quad (6)$$

여기서, ω_n은 조화성분별 주파수이며, 수립자속도를 식(3), (4)에 의해 산정한 후, 그 시간파형을 FFT법에 의해 Fourier해석하여, 각 주파수별 유속성분 진폭을 구하여 식(6)에 의해 가속도의 시간파형을 구할 수 있다.

Morison식 및 파력계수

인공어초에 작용하는 파력은 양력을 무시할만하다고 가정하면 항력과 관성력의 합으로서 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$F=F_D+F_I=\frac{1}{2}C_D\rho AU|U|+C_m\rho V\frac{\partial U}{\partial t} \quad (7)$$

여기서, C_D는 항력계수, C_M은 관성력 계수, U는 수립자 속도, A는 투영면적, V는 체적, ρ는 유체 밀도이다. 한편, Morison식으로 파력을 산정할 경우, 파력계수 C_D, C_M에는 양력의 효과가 포함될 수 있으며, 이 영향을 파력계수에 포함시킬 경우에는 상기 식의 각 파력계수를 각각 독립된 양으로서 취급할 필요가 있다.

측정파력과 수리, 구조물 제원으로 부터 Morison식의 파력계수를 산정하는 방법으로는 1) 최대파력 위상법(MFP: Maximum Force Phase Method), 2) Fourier 평균법(FDM: Fourier Decomposition Method), 3) 최소자승법(LSM: Least Square Method)이 있다. 최대 항력, 관성력 위상 사용법은 수립자 속도가 0인 위상의 파력과 가속도로 부터 관성력계수를 구하고, 가속도가 0인 위상으로 부터 항력계수를 구하는 방법이다. 이 방법은 관성력과 항력의 크기가 유사할 경우 유효하나, 그렇지 않을 경우 data상의 파정 및 Zero-crossing, 즉 $U=0$, $\partial U/\partial t=0$의 시간이 명백하지 않아 오차가 발생하기 쉽다. Fourier 평균법은 파력이 주기 함수이고, 유속을 단순정현 함수로 가정하고 계산하는 방법으로 수립자속도와 가속도의 시간파형이 완전히 정형일 때 유효하지만, 그렇지 않을 경우 오차가 개입될 소지가 크다. 최소자승법은 측정파력의 시간파형과 계산파형을 근사시켜 그 계수를 취하는 방법으로 파랑 주기간 계산력과 측정력 간의 평균제곱오차를 최소화하는 방법이다. 또한, 종래의 최소자승법은 파력의 극치에서 차이가 생기기 쉬우므로 본 연구에서는 계산파력과 실측파력의 극대치 및 극소치의 정도를 향상시키기 위해 실측파력의 2승을 가중시킨 최소자승법(MLS: Modified Least Square Method)의 사용을 검토하였다. Fig. 3은 파력계수의 산정법의 특성을 조사하고, 표준화하기 위한 검토단계로서 산정법별 파력계수의 변동 특성을 나타낸 것이다. 수위변화에 따른 수립자 속도 및 가속도를 전술한 방법으로 구하고 목표파력계수(C_{Do}, C_{MO})를 가정하여 Morison식으로 파력의 시간파형을 작성하였다. 이로 부터 동일한 수위 및 파력의 시간파형을 대상으로 각 산정법 및

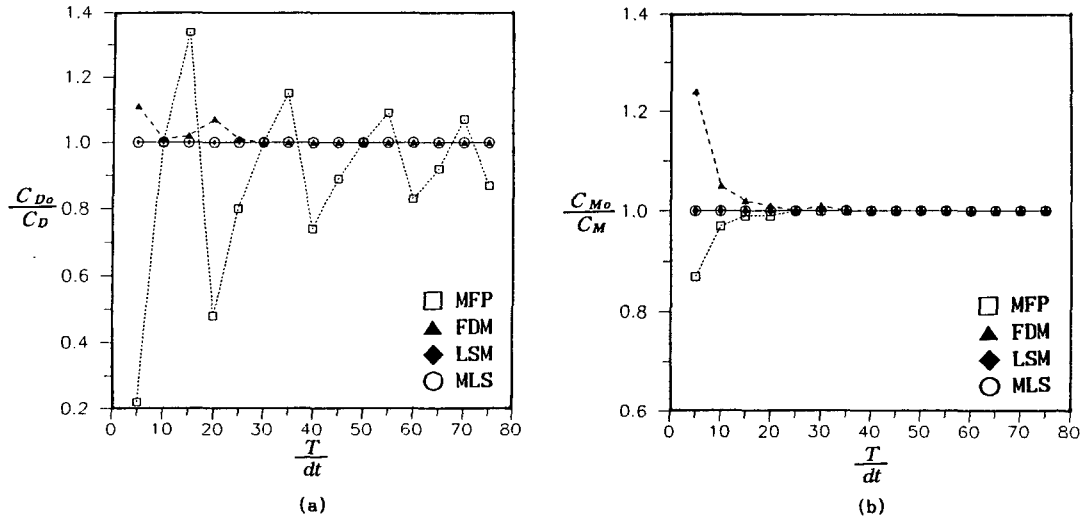

Fig. 3. Comparisons of hydrodynamic coefficients by various methods.

해석조건에 따른 파력계수(C_D, C_M)의 변화 특성을 목표.파력계수와 비교 검토한 것이다. 그림으로 부터 해석방법 및 조건에 따른 해석결과의 변동성을 볼 수 있으며, 최소자승법 및 수정 최소자승법이 해석조건에 따른 변동성이 거의 없어 안정된 해석 방법임을 알 수 있다. 또한, 실험결과를 대상으로 최대파력의 측정치(F_{maxM}) 및 계산치(F_{maxC})를 Fig. 4에 비교하였으며, 최대파력의 측정치 및 계산치는 파력계수의 산정법에 따라 다소 변동을 보이나 일치점을 기준으로 한 변동계수는 MFP=0.21, FDM =0.15, LSM=0.16, MLS=0.07로서 수정 최소자승법이 가장 안정됨을 알 수 있었다. 이에 본 해석에서는 수정 최소자승법을 사용하고자 하며, 수정 최

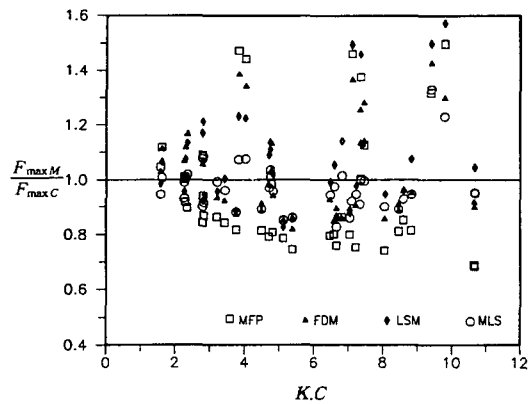

Fig. 4. The maximum wave force ratios according to K.C number using various methods.

소자승법에 의한 파력계수의 산정법은 이하와 같다.

계산파력의 시간파형을 디지탈화하여 나타내면 i번째 계산파력 F_{Ti}는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{Ti}=C_D f_{Di}+C_M f_{Mi} \tag{8}$$

여기서, $f_{Di}=(\rho\pi A u_i \mid u_i \mid)/2$, $f_{Mi}=(\rho\pi V\partial u_i/\partial t)$이며, i는 i번째의 값을 나타낸다. 관성력계수와 항력계수의 시간적 변화가 없다고 가정하면 실측파력의 2승을 가중시킨 실측파형과 계산파력의 2승오차는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E=\sum_{i=1}^{N} F_i^2(F_i-F_{Ti})^2 \tag{9}$$

여기서, N은 데이타 개수로서 5파분에 해당한다.

실측파력 F_i와 F_{Ti}의 차이가 최소가 되는 조건은 다음의 연립방정식을 만족시키는 것으로 생각할 수 있다.

$$\frac{\partial E}{\partial C_D}=0,\quad \frac{\partial E}{\partial C_M}=0 \tag{10}$$

식 (9)의 E를 상기 식에 대입하여 연립방정식을 풀면, C_D와 C_M은 각각 다음 식과 같이 정리된다.

$$C_D=\frac{\Sigma(F_i^3f_{Di})\Sigma(F_i^2f_{Mi}^2)-\Sigma(F_i^3f_{Mi})\Sigma(F_i^2f_{Di}f_{Mi})}{\Sigma(F_i^2f_{Mi}^2)\Sigma(F_i^2f_{Di}^2)-[\Sigma(F_i^2f_{Di}f_{Mk})]^2}$$
$$C_M=\frac{\Sigma(F_i^3f_{Mi})\Sigma(F_i^2f_{Di}^2)-\Sigma(F_i^3f_{Di})\Sigma(F_i^2f_{Di}f_{Mi})}{\Sigma(F_i^2f_{Mi}^2)\Sigma(F_i^2f_{Di}^2)-[\Sigma(F_i^2f_{Di}f_{Mk})]^2} \tag{11}$$

여기서, Σ은 디지탈화한 5파분에 대해 실시한다.

인공어초에 대한 파력 특성

인공어초에 작용하는 파력은 항력과 관성력의 합으로 나타낸 식(7)과 같은 Morison식으로 나타낼 수 있다. 인공어초에 대한 합리적인 파력 산정은 인공어초의 시설 및 시설 후의 안정성과 관련하여 중요한 과제이다. 일반적으로 널리 시설되고 있는 사각어초의 경우, 종래에는 사각부재의 파력계수에 안전율을 고려하여 C_D=2.0, C_M=2.0을 사용하여 왔으며, 이는 上北(1986)의 무한유체장에 의한 실험결과에 안전율을 고려하면 비교적 합당한 평가로 고려될 수도 있다. 그러나, 이는 松見(1991)가 지적한 것처럼 저면효과를 무시한 경우므로 적용상의 문제가 있고, 어초 구조의 복잡화 및 시설의 다양화에 따른 파력계수의 특성을 고려할 필요가 있다.

일정경사면(1/10)에 대한 착저식 사각어초에 대한 파력 특성을 조사하고, 수위와 파랑 제원을 변화시키며 쇄파대 부근의 사각어초에 대한 파력 특성도 정리하였다. 수위의 측정 결과로 부터 수립자 속도 및 가속도를 계산하고, 실측 파력으로 부터 Morison식의 파력계수를 수정최소자승법에 의해 산정하여 사각어초 및 유체장의 특성에 따라 정리하여 파력 특성을 검토하였다. 그 실측 및 계산 예를 Fig. 5에 나타내었다. 일정경사면 상에서의 파력 특성은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 K.C수에 따라 일정한 경향을 나타내는 것으로 나타났고, 정상류

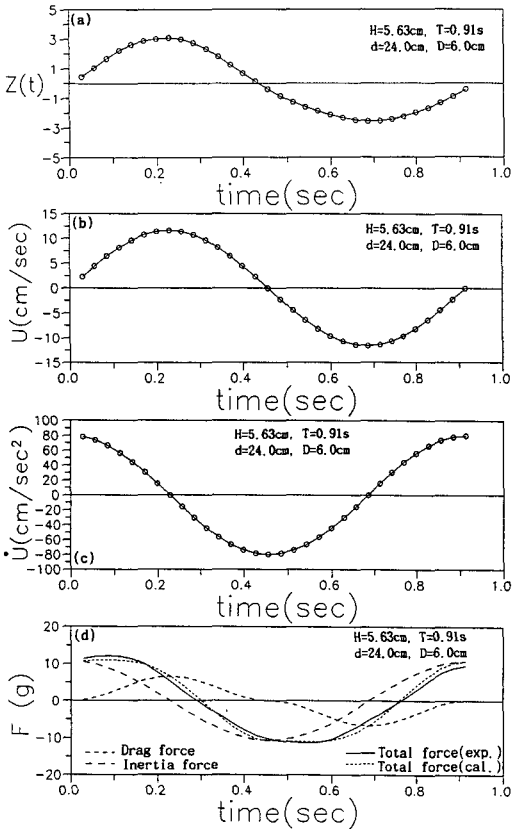

Fig. 5. An example of measured and calculated forces in wave field.

장에서의 중요한 파라미터인 Re수에 대해서는 명확한 영향을 볼 수 없었다. 항력계수는 그 평균적

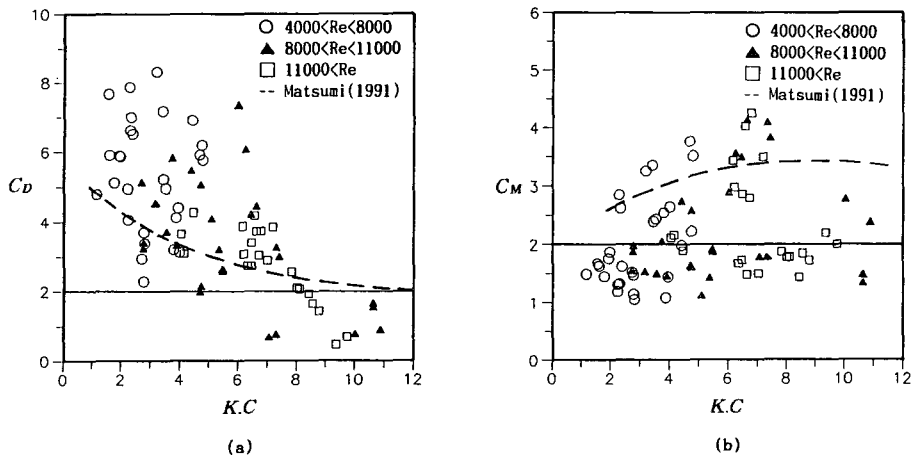

Fig. 6. Hydrodynamic coefficients on an artificial habitat on uniform slope bed.

인 경향이 K.C수가 증가함에 따라 8에서 1까지 감소하는 양상을 보였고, 관성력계수는 K.C수 7 부근에서 최대치로서 4 정도이며 K.C수의 증가에 따라 1에서 4까지 증가하다가 감소하는 경향을 보였다. 이들 결과는 松見의 평탄면 상에서의 어초에 대한 실험결과와 유사한 경향을 나타내지만, 관성력을 비교할 때 평균 1~2 정도 낮게 나타났고 항력계수는 K.C수에 따른 감소가 비교적 크게 나타났다. 이는 파에 의한 수립자운동이 평탄면과 일정경사면상에서 달라지므로서 생기는 유체 흐름의 차이에 기인하는 것으로 고려된다. 이 값들은 上北(1986)의 무한유체장에 대한 파력계수와 비교할 때 매우 큰 값으로 평가되며, 착저식 어초의 경우 저면효과를 고려한 유체력 산정의 중요성을 강조할 수 있는 것이다.

한편, 쇄파대 부근에 인공어초를 설치할 경우의 파력 특성을 검토하기 위해 실험결과를 종래 산정식을 기준으로 파력계수의 특성을 검토하였다. 쇄파대 부근의 인공어초에 대한 파력 산정은 식(11)을 준용하고 있으며, 이 산정식을 기준으로 할 경우 항력계수를 Fig. 7에 나타내었다. 그림으로 부터, 항력계수는 1.5~2.5 정도로 나타나며, 분산이 심하나 쇄파점 부근에서의 항력계수는 평균 2.0 정도로 나타나며, 차후 쇄파 특성 및 형태 등에 따른 상세한 연구를 필요로 하고 있다.

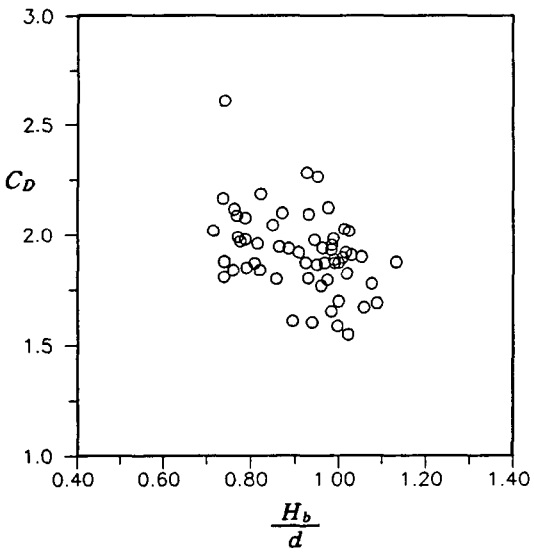

Fig. 7. Hydrodynamic coefficients on an artificial habitat around breaking zone.

$$F = \frac{3}{8} C_D A \rho g H_b \qquad (12)$$

여기서 H_b는 쇄파고를 나타낸다.

이들 결과를 종래 실험결과와 비교하여 정리하면 Table 2와 같다. 표로 부터 알 수 있듯이, K.C 값에 따라 변동이 보이지만 착저식 어초에 대한 파력계수는 대체로 종래의 권장치 2보다는 크게 나타나며, 이는 종래의 무한유체장에서 실시한 결과나 현행 설계지침의 파력계수가 파력을 과소평가할 수 있음을 의미한다. 또한, 일정경사면 및 평탄면 상의 실험결과를 보면, 그 패턴은 유사한 경향을 보이나 일정경사면상의 경우가 비교적 분산이 크고 극치가 나타나는 K.C수의 값이 달라지며, 관성력 계수는 작게 나타남을 알 수 있다. 이로 부터, 대상 해역의 지형 특성과 어초의 규모에 따른 해저경사의 고려가 필요할 시는 본 실험결과를 고려하여 파력 산정을 검토할 필요가 있다.

최대파력의 특성

인공어초의 안정성과 관련하여 중요한 것은 최대 유체력 특성이며, 이에 본 연구에서는 최대파력에 대한 실험적 검토를 행하였다. 실험 결과를 무차원 최대파력 $F_{max}/(\rho u_m^2 D^2)$으로 정리하였고, 차원해석 결과로 부터 각 파라미터의 영향을 조사하였다. 종래 사각어초에 대한 파력계수(C_D=2.0, C_M=2.0)와 본 실험에 의한 파력계수를 기초로 한 최대파력 산정치 및 실험치를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)에서 일정한 파력계수를 기준으로 할 때 K.C수가 3을 기준으로 항력이 탁월한 영역과 관성력이 탁월한 영역으로 구분됨을 알 수 있다. 즉, K.C수가 3 이하에서는 K.C수가 감소할수록 관성력은 탁월해져서 K.C=1 부근에서 관성력은 항력의 3배에 달하며, 지수함수적으로 증가하게 된다. 그러나, K.C수가 3보다 큰 영역에서는 관성력이 약화되어 K.C수=7에서 항력의 절반 정도로 되며, 점감하게 된다. 그림에 무차원 최대파력에 대한 이론치와 실험치가 비교되어 있는데, 이론치보다 실험치가 대체로 크게 나타났다. 이를 본 실험에 의한 파력계수를 이용한 산정결과와 비교한 것이 Fig. 8(b)이다. 그림으로 부터 이론치와 실험치는 비교적 일치하는 경향을 보이며, 대부분의 영역에서 항력이 탁월함을 볼 수 있다. 이는 인공어초의 구조가 그 기능상 높은 투과성을 가진 구조물이기 때문으로

Table 2. Comparisons of hydrodynamic coefficients on the various wave field

Items		Drag coefficient	Inertia coefficient	Remarks
Manual		2.0	2.0	
Intermediate depth		1.0~1.2	1.4~1.6	Uekita(1985)
Fixed on the bottom	flat bed	1.5~6.0	2.5~3.8	Matsumi(1991)
	uniform slope bed	1.0~8.0	1.0~4.0	this study
	breaker zone	1.5~2.5		this study

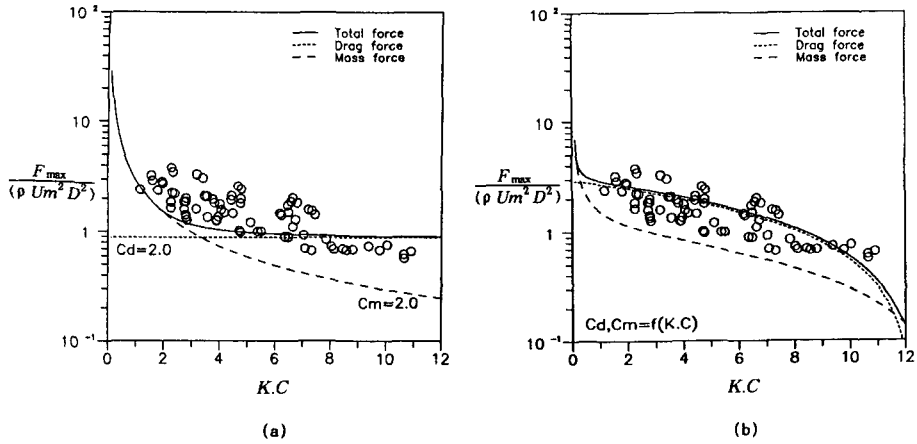

Fig. 8. Comparisons of measured maximum wave forces and calculated ones using the hydrodynamic coefficients of (a) conventional values and (b) this study results.

고려된다.

그림으로 부터 인공어초에 대한 무차원 최대파력은 K.C수를 이용하여 정리할 수 있으며, 최소자승법을 이용하여 실험결과를 정리하면 다음 식과 같은 사각어초에 대한 최대파력 산정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{F_{max}}{(\rho u_m^2 D^2)} = -1.05 \ln(K.C) + 3.19 \qquad (13)$$

그러나, 본 산정식은 실험결과를 이용한 간략식으로 실험조건(0<K.C<12)으로 부터 적용한계가 있으나 어초의 대형화 등을 고려할 때 현장적용상 한계에는 포함되지 않을 것으로 고려된다.

결 론

연안 해역의 생산성 향상을 위한 어장 개량 및 보전과 다기능·다목적 해역 이용을 위한 요소시설의 하나인 인공어초의 안정 설계 및 평가를 위한 기초적 단계로서 인공어초에 대한 실험 결과를 대상으로 유체력계수의 산정, 파력 및 최대파력 특성을 검토하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 인공어초에 대한 파력의 수리실험 및 수치계산 결과를 대상으로 해석조건 및 파력산정법에 따른 파력계수의 변동 특성을 조사하였다. 그 결과, 최소자승법 및 수정 최소자승법이 안정된 해석 결과를 나타내었고, 안정성 평가에 있어서 중요한 최대파력의 산정을 고려하면, 수정 최소자승법이 가장 합리적인 산정방법인 것으로 나타났다.

(2) 종래 어초 설계시 파력 산정은 무한유체장에서의 실험 결과를 이용하였으나, 이는 착저식어초에서 나타나는 계면효과를 배제한 상태므로 파력을 과소평가할 위험이 있음을 알 수 있었고, 일정경사 해저면상에 설치된 어초에 대한 파력은 평탄면에 대한 실험 결과보다 약간 큰 파력을 받는 것으로 나타났다.

(3) 쇄파대 부근에 설치된 어초에 대한 파력 특성은 종래의 식을 쓸 경우, 항력계수는 2.0 정도로 나타났다. 그러나 분산이 심하였고, 장차 구조

물 및 쇄파 형태에 따른 분류와 해석이 요망된다.

(4) 인공어초에 대한 최대파력은 큰 투과성으로 인해 항력 성분이 탁월하게 나타났고, K.C수가 중요한 파라미터로 작용함을 알 수 있었고 이를 기초로 산정식을 제시하였다.

사 사

이 연구는 부산수산대학교 해양산업개발연구소(해역환경을 고려한 인공어초 설계시스템 개발; RCOID931-1213-06-1) 및 수산청의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

류청로 · 장선덕 · 임기봉. 1986. 인공어초의 규모 및 배치에 관한 연구. 수진연보, 38, 1~24.

류청로 · 이익효 · 김현주 · 정진호. 1993. 수중수산시설물에 작용하는 유체력 및 지반거동의 동적해석. 한국해안 · 해양공학회 학술발표논문초록집, 72~77.

柿元 皓. 1984. 魚礁の構造と魚群蝟集量につにて. 水產土木, 21(1), 1~10

上北征男 · 明田定滿. 1986. 角型魚礁に作用する流體力について. 水產工學研究報告, 7, 13~22.

수진연보. 1992. 한국연안 인공어초의 자원조성 효과에 관한 연구. 사업보고서, 95, 89p.

加藤重一. 1984. 水產土木概論. 厚生閣, 381p.

松見吉晴. 1991. 着底式魚礁に作用する流體力に關する研究. 海岸工學論文集, 38, 801~805.

中村 充. 1991. 水產土木學. 工業時事通信社, 561p.

D'Itri, F. M. 1985. Artificial reefs - Marine and freshwater application. Lewis Publishers Inc., Chelsea, 589p.

Koyama, H. and K. Iwata. 1985. Estimation of water particle velocities by a modified transfer function method. Coastal Eng. Japan, 28, 1~13.

Ryu, C. R. 1992. Review on marine artificial habitat technology. Proc. FOID '92, 137~154.

1994년 3월 8일 접수
1994년 9월 3일 수리