

강제어초에 작용하는 유체항력에 관한 연구

신현경*, 양창섭*, 이형락* 김태무*, 임호섭**
 *울산대학교 수송시스템공학부
 ** 포항산업과학연구원 강구조연구소

A study of Fluid Drag Forces Acting on Artificial Steel Reefs

Hyunkyoung SHIN*, Chang-Sub YANG*, Hyung-Lark LEE*, Tae-Moo KIM* and Ho-Seob EOM**

* School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan
 Ulsan, Korea

** Steel Structure Research Laboratory, Research Institute of Industrial Science & Technology
 Kyungki, Korea

KEY WORDS : 강제어초, 유체항력, 모형시험, 해양공학광복수조, 복합환경, 파랑, 조류, 유동장, 난류모델, $k-\epsilon$ model, 사면체요소

ABSTRACT : Many artificial steel reefs are being built in Japan, however, in Korea, only few steel reefs were manufactured by POSCO, recently. In order to develop their novel types suitable for marine environments near the Korean Peninsula, it is very important to carry out model tests in the initial design stage. In the Ocean Engineering Wide Tank(LxBxD=30x20x2.5m) and the Circulating Water Channel of the University of Ulsan, Korea, fluid drag forces acting on models of steel reefs with different sizes are measured in waves and currents. Also numerical predictions based on the Navier-Stokes equation are made and compared with experimental results.

1. 서론

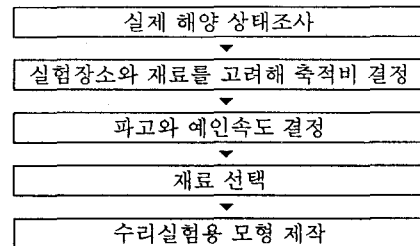
산업의 고도화로 간척 및 매립공사가 확대됨에 따라 연안어장이 급격히 축소되고 있다. 이러한 연안어장의 축소를 인하여 70년대 초에 원양어업이 활발하였으나 원양어업도 연안 각국의 200 해리 경제수역 선포와 어업규제 강화로 제약이 심화되었다. 원양어업의 위축과 연안어업의 어로기술 발달로 연안어종이 급격히 감소됨에 따라 우리 나라 연안 전역에 인공어초를 이용한 어장조성이 필요하게 되었다. 인공어초의 개발은 인류의 마지막 보배인 바다가 사막화되어 가고 있는 현시점에서는 매우 중요한 사업이라 할 수 있다.

지금까지 많이 사용되어 온 콘크리트 사각어초에 비해 가공성이 뛰어나며 복잡한 구조·형상의 어초 제작에 적합하고 고강도인 강제어초의 장점은 내부공간을 크게 만들 수 있어서 어류의 생활 공간이 넓게 되며 가공부재의 운반이 용이하고, 특히 현지 안벽 조립이 간단하여 시공공정을 크게 단축할 수 있다. 형상 설계·제작 자유도가 커서 다양한 형상 요구에 따라 타소재로 구성된 구조물과의 복합화도 용이하기 때문에 어장해역조건에의 적응성이 우수하다. 또한 강부재의 표면에서 용출되는 철이온은 식물성 플랑크톤 증식의 필수영양분을 계속적으로 공급할 뿐만 아니라 해중생물과의 친화성이 우수하여 조기에 어류의 사료가 되는 부착생물의 착생이 양호하다.

강제어초 주위의 유동변화 등에 대한 유체역학적 거동파악은 강제어초 어장을 조성하는데 있어서 매우 중요한 기술자료가 된다. 따라서 설계해역조건(파고, 파장, 유속)을 재현한 실험수조 내에서, 설계된 강제어초 전체의 형상 및 구조를 축소 모형에 대한 유체역학적 거동파악과 특성평가에 따른 설계 제정수의 도출이 필요하다.

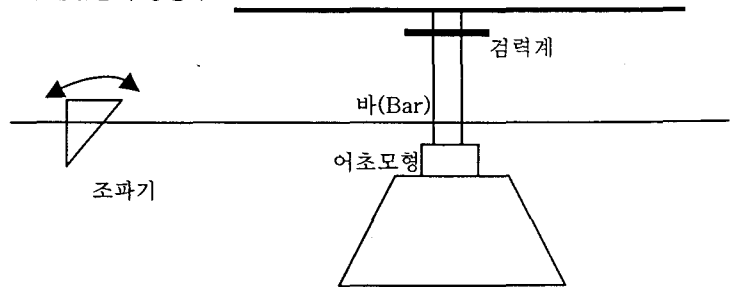
2. 수리모형의 제작

수리모형을 제작하기 앞서 축척비를 먼저 결정해야 한다. 모형비는 실험할 장소의 수심과 모형제작을 위한 재료를 고려하여 결정한다. 축척비가 결정되면 모형의 치수뿐만 아니라 파고, 예인속도 등을 결정할 수 있다. 모형 제작하는 과정을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

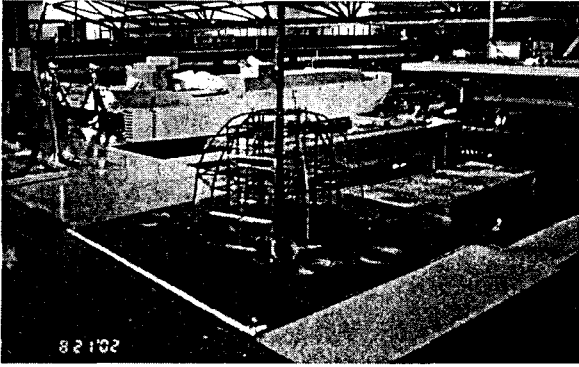


3. 복합 환경에 의한 거동 및 항력측정

파랑중, 조류중 및 조류와 파랑중에서의 어초에 작용하는 유체력을 측정하기 위해서 다음과 같은 실험장치를 설치하여 실험을 수행한다.

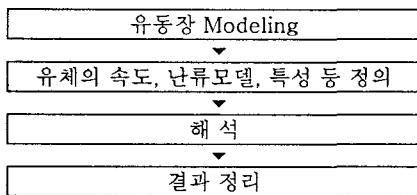


수조에 진수후, 어초 모형과 예인전차(Carriage)를 Bar 로 연결하여 서로 부착시킨다. Bar 와 예인전차 사이에는 유체력을 측정할 수 있는 검력계(dynamometer)를 장착한다. 설계과교와 설계과장 및 설계유속의 환경하에서 어초에 걸리는 힘을 측정한다. 이 측정된 힘을 이용하여 항력계수를 구할 수 있다. 그래서 이 어초에 작용하는 항력계수를 예측할 수 있다.



4. 수치해석

수치계산을 하기 위해서는 어초 주위의 유동장을 모델링하고 유동장의 Boundary Condition과 Property를 정의한다. 유동장을 모델링할 때 가장 중요한 작업은 유체의 격자를 만드는 것이다. 이 작업은 많은 시간이 소요될 것이다. 여기서 유체의 압력분포와 속도분포 그리고 유체의 흐름을 파악할 수 있다. 이상과 같이 수치계산하는 과정을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



1) 지배방정식(Governing equation)

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (v_e) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2)$$

여기에서, u_j - 속도성분, ρ - 밀도 (constant).

$$p = p_H + p_D. \quad p_H = \int \rho \quad g \quad dz, \quad p_D \text{ 는}$$

동압력(dynamical part), ζ - 자유표면 높이.

2) 난류모델(Model of turbulence)

$$\text{eddy viscosity } v_e = \nu + \nu_t = \nu + c_n \frac{k^2}{\varepsilon}$$

여기에서 k 는 turbulent kinetic energy, ε 은 dissipation rate (k - ε model).

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\nu + \nu_t / Pr_k) \frac{\partial k}{\partial x_j} + P - \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\nu + \nu_t / Pr_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + 1.44 \cdot P \cdot \frac{\varepsilon}{k} - 1.92 \cdot \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

3) 초기조건(Initial condition)

$$u_i(x_i, 0) = 0.0, \quad k(x_i, 0) = 0, \quad \varepsilon(x_i, 0) = 0, \quad p_D = p_{D0},$$

$$p_H = \rho g (\zeta_0 - z), \quad \zeta_0 = \text{const} \quad (5)$$

4) 경계조건(Boundary condition)

벽면 조건은

$$u_i(x_i, t) = 0$$

$$k_w(x_w, t) = \tau_w / (\rho c_n^{1/2}), \quad \varepsilon_w(x_i, t) = c_n^{3/4} k^{3/2} / l \quad (6)$$

유체 유입 경계에서의 조건은

$$u_1(t) = u_{1in}, \quad u_2(t) = u_{2in}, \quad u_3(t) = u_{3in} \quad (7)$$

유체 출구 경계에서의 조건은

$$p(t) = p_{out}, \quad \frac{\partial u_2}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial u_3}{\partial n} = 0 \quad (8)$$

또한 자유표면에서의 운동학적 및 동역학적 경계조건은

$$\frac{d\zeta}{dt} = u_3, \quad p = p_a, \quad \zeta = z_a [\sin(kx_1) \sin(lx_2)] \sin(\omega t). \quad (9)$$

이다.

여기에서, z_a - 파진폭(amplitude), k - 파수(x_1 direction), l - 파수(x_2 direction), ω - frequency.

5) 수치해석 기법(Splitting Scheme)

유속의 중간값(intermediate values of velocity)은

$$\frac{\tilde{u}_i - u_i^n}{\Delta t} + Adv u_i^n = -\frac{1}{\rho} Grad p^n + Dif u^n \quad (10)$$

$$\text{여기에서 } Adv = u_j \frac{\partial}{\partial x_j}, \quad Dif = \frac{\partial}{\partial x_j} v_e \frac{\partial}{\partial x_j},$$

$$Grad = \frac{\partial}{\partial x_j}.$$

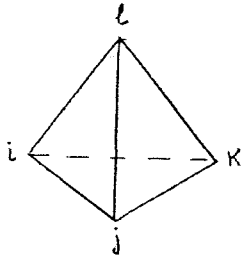
방정식(1)을 만족시키기 위한 보정(correction procedure)은 다음과 같다.

$$u_i^{n+1} = \tilde{u}_i - \Delta t / \rho Grad (\delta p) \quad (11)$$

여기에서 압력보정(pressure correction) δp 은 Poisson equation 의 해이다.

$$\frac{\Delta t}{\rho} \frac{\partial^2 (\delta p)}{\partial x_j^2} = \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_j} \quad (12)$$

6) 유한요소(Finite Element Approximation)



사면체요소(tetrahedron elements) 의 기본함수는

$$\Phi_i^e = \frac{1}{6V_e} (a_i^e + b_i^e x + c_i^e y + d_i^e z) \text{ 이며, Galerkin}$$

finite element method (GFEM) 은 방정식(13)을 낳는다.

$$M \frac{d \varphi}{d t} + Adv \cdot \varphi + Dif \cdot \varphi = F \quad (13)$$

$$\varphi = [u_i, p, k, \varepsilon]^T : \Omega \times [0, T] \rightarrow \mathfrak{R}^n$$

이때 Cauchy problem 은 rational Runge-Kutta scheme 의 2nd order of accuracy 에 의해 풀려진다.

7) 수치해석 결과

Fig. 1) 은 단일 원기둥 주위의 유동을 보여주고 있으며, Figs. 2, 3) 은 단순화된 강제어초 주변의 유동을 보여준다..

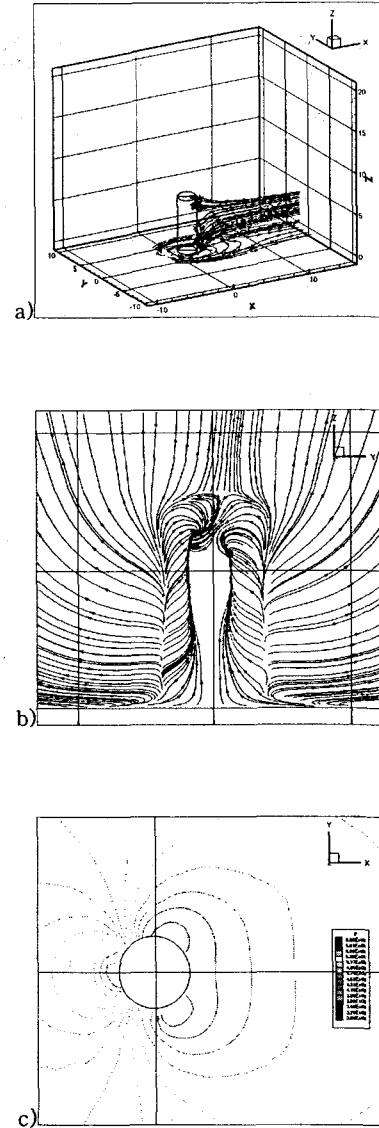


Figure 1. (a) Streamlines. 3D view. (b) Streamlines. Back side view (wake section, 1.5 m from central point of cylinder). (c) Pressure. Top side view (6.5 m from plate).

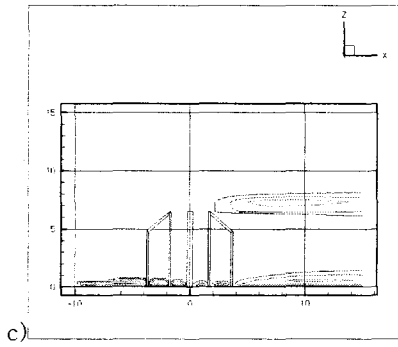
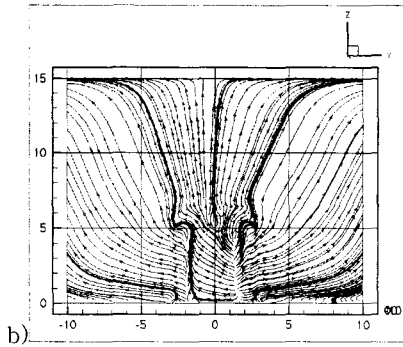
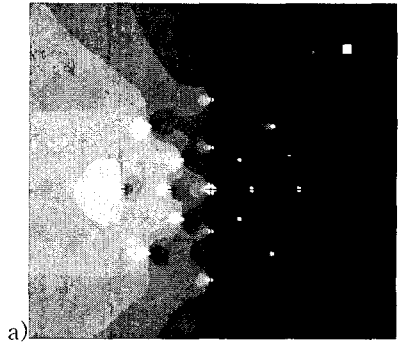


Figure 2. (a) Top side view. Pressure (0.2 m from plate). (b) Streamlines. Back side view (inside section, 4.5 m from central point of reef). (c) Turbulent kinetic energy. Side view.

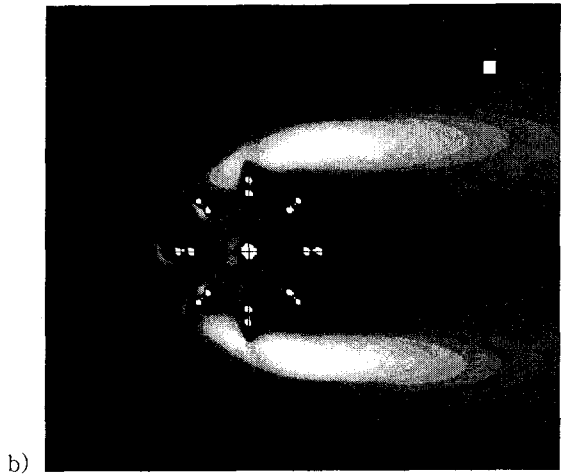
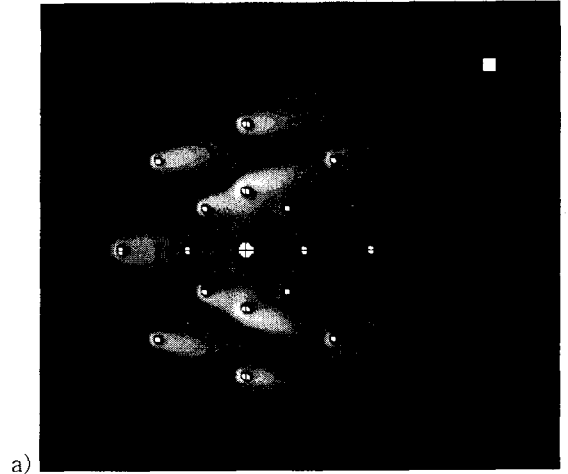


Figure 3. Top side view. Turbulent kinetic energy: (a) 4m from plate, (b) 6m from plate.

