

# 해상양식시설의 계류시스템 실험

권오열 한국어촌어항협회 어항본부 어항개발팀 대리

## 1. 서론

우리나라 가두리 양식장이 극히 취약한 것은 해역별 대표 파랑에 대해서 안정성을 담보할 수 있는 계류시스템에 필요한 설계기준과 이를 구현할 수 있는 계류시스템이 아직 개발되지 못한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 이를 위해 본 고(稿)에서는 지구 온난화로 한껏 거칠어진 해양 수환경에서도 안정성을 담보할 수 있는 기준을 제시하고 이를 구현할 수 있는 계류시스템을 개발하고자 한다.

양식시설 조성의 어려움에는 바다 및 어장환경변화에 따른 자카오염, 각종 질병의 발생 등으로 다양한 피해가 발생하고 있으며, 그 중 가장 큰 피해는 매년 주기적으로 발생하는 태풍 및 파랑에 대한 양식시설 피해(1차 피해)가 심각하다. 또한, 파랑에 의한 계류삭 이탈로 인하여 양식시설 충돌(2차 피해) 등 다양한 피해가 발생하고 있으나 이에 대한 대책은 미미한 정도이다.

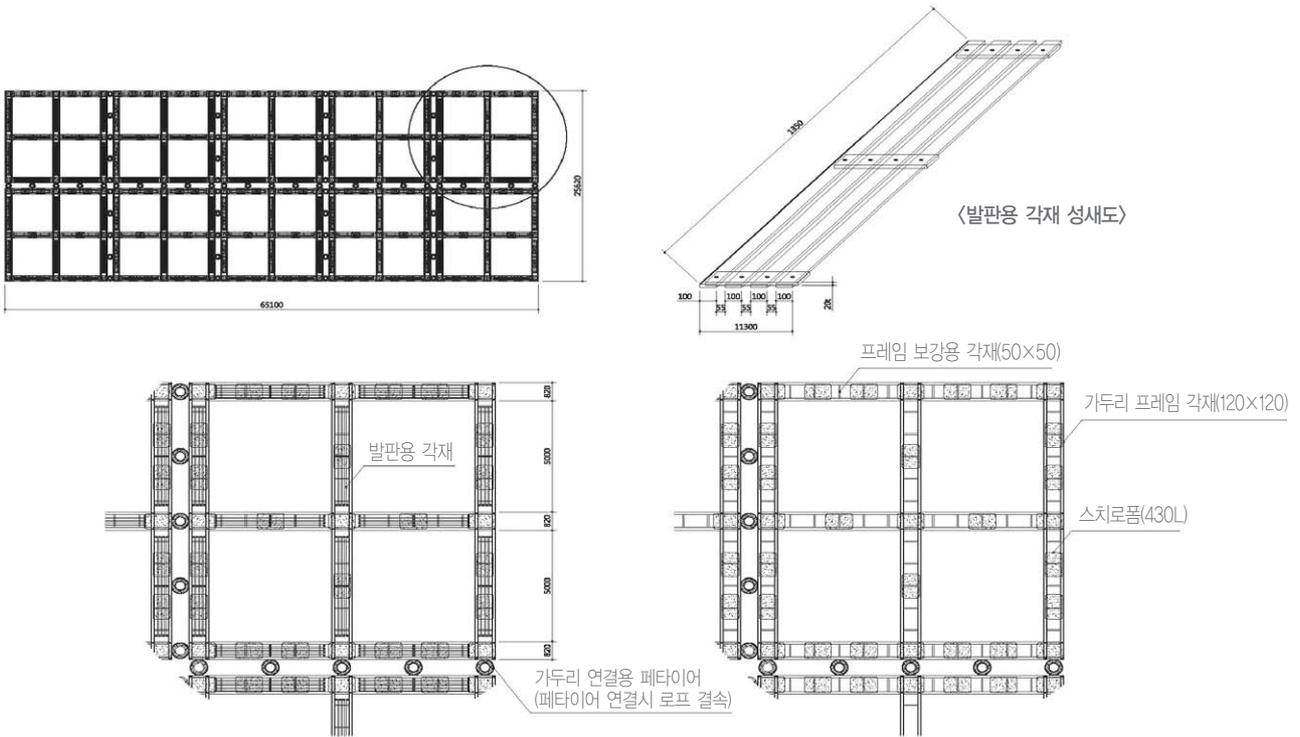
특히 태풍 및 파랑에 대한 가두리 시설의 피해원인(1차 피해) 중 근본적인 문제는 양식시설 설치 시 허가나 신고가 되지 않은 시공 업체 및 자가 설치 등 비표준화·비정형화된 양식시설의 설치로 인하여 큰 피해를 보고 있는 실정이다.

## 2. 현황

가두리식 양식이란 그물이나 목재로 만든 가두리(cage)를 비교적 수심이 깊은 내만의 가두리를 수면에 뜨게 하거나, 수중에 매달아 어류를 기르는 양식 방법이다. 일반적으로 많이 이용하는 표층 가두리 양식은 가두리 그물을 뜬 틀에 고정하여 대형의 뜬틀로 뜨게 한 다음 그 속에서 양성한다.

우리나라에서 어류를 가두리식으로 양식하기 시작한 것은 해양이 아닌 내륙지에서 먼저 시작되었다. 1976년경 강원도 춘천 의암댐에서 시작된 향어 가두리양식, 일명 이스라엘 양식이 그의 효시인 것으로 알려지고 있다.

우리나라에서는 한 칸의 크기가 5×5m인 가두리가 많이 사용되고 있으며, 이를 4대 연결하여 면적 10×10m의 크기를 1조라 한다. 어장 면적이 10ha인 경우 10×10m 크기의 가두리 20조가 시설되며, 어장 관리



〈그림 1〉 가두리 양식장 구성

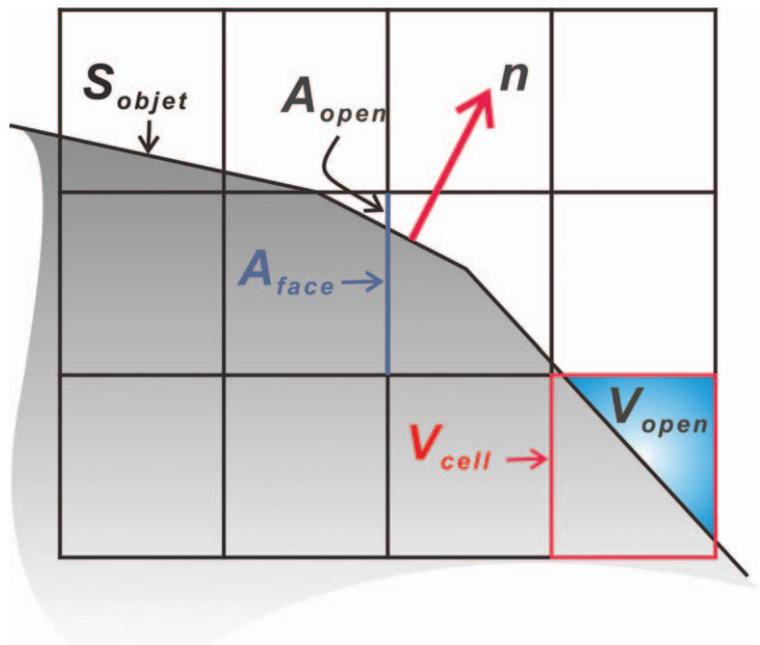
와 먹이를 주기 위해 관리자, 사료 제조기, 사료 저장고 등도 함께 갖추는 것이 보통이다.

### 3. 가두리 시설형태 및 수치모의

#### 3.1 가두리 시설형태

우리나라의 연안 어류 가두리는 주로 내만 및 섬으로 둘러싸인 연안에 설치되어 있으며, 설치 수심은 대부분 5~30m 정도이나 최근에는 다양한 종류의 외해 가두리 시설이 개발되어 수심이 40m 이상까지 확대되었다.

어류 가두리 시설의 구조는 물고기를 기르는 가두리 그물부(사육망)와 이를 수면이나 수중에 띄우면서 일정한 형을 유지시키는 프레임부, 그리고 조류에 대한 그물의 변형을 방지하는 침자와 가두리 시설 전체를 일정한 위치에 고



〈그림 2〉 격자내 고행물에 대한 부분면적과 부분체적계수의 계산영역



정식이기 위한 계류 시설로 구성된다.

### 3.2 수치해석기법(FAVOR)

FAVOR(Fractional Area/Volume Obstacle Representation)는 직교격자체계에서 체적점유율과 면적점유율의 개념을 이용하여 계산 영역의 복잡한 기하학적 형태를 상세히 묘사하는 기법으로 FAVOR는 직교격자망을 사용하면서도 경계면을 실제 형상에 가깝게 기술할 수 있는 장점을 지녔다(Hirt and Sicilian, 1985).

### 3.3 유체체적법

유체체적법 (VOF, Volume of Fluid)에서는 격자내의 유체점유율을 활용하여 자유수면을 비교적 정확히 추적할 수 있으며, 따라서 자유수면에서의 경계조건이 비교적 정확히 부과될 수 있는 장점을 지닌다. 따라서 홍수와 같은 복잡한 자유수면 거동을 Lagrangian 방법보다 해석이 비교적 용이한 고정 Eulerian 격자 상에서도 정확하게 해석할 수 있으며 VOF 이송방정식을 기술하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (FuA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (FuA_z) \right\} = F_D \quad (3.1)$$

여기서  $F_D$ 는 유체체적확산을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$F_D = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (v_F A_x \frac{\partial F}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_F A_y \frac{\partial F}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_F A_z \frac{\partial F}{\partial z}) \right\} \quad (3.2)$$

식 (3.1), (3.2)에서  $F$ 는 유체점유율로 유체내에서는 일의 값을 지니며 그렇지 못한 경우 영의 값으로 수렴된다. 자유수면을 지나는 감사체적에서 평균을 취하는 경우 유체점유율은 영과 일 사이의 값을 지니며 계산 격자를 통해 유체가 유동하는 경우 시공을 통해 상이한 값을 지니게 된다. 여기서 확산계수  $v_F$ 는 다음과 같이 정의되며

$$v_F = c_F \frac{\mu}{\rho} \quad (3.3)$$

여기서 계수  $c_F$ 는 turbulent Schmidt number의 역수로 정의된다.

### 3.4 수치모의 계산영역

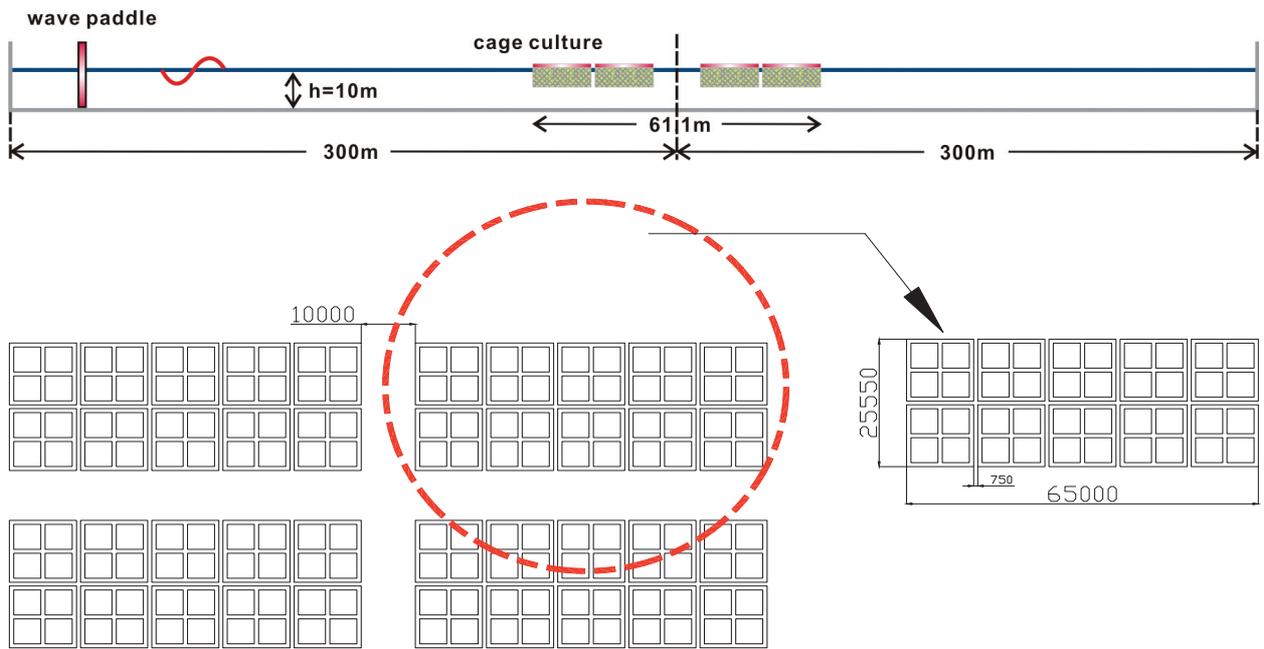
본 연구에서는 가두리망에 작용하는 항력(흐름) 중 fouling(해저 부착생물) 등으로 한층 두꺼워진 어망 두께를 통한 항력의 증가정도를 비교하기 위해 수치모의 하였다.

가두리 시설의 한 칸의 크기가 5×5m인 가두리를 사용하였으며, 이를 4대 연결하여 면적 10×10m의 크기를 1조라 하고, 1ha인 경우 10×10m 크기의 가두리 20조가 시설되며 본 연구에서는 현 가두리 양식장과 유사한 40조를 설치하되, 선박의 이용을 고려하여 각 10조와 10조 사이에 10m 간격을 두고 연구하였다.

수치모의는 길이가 600m, 폭이 200m인 수조에서 수행하였으며 가두리 시설은 수치반사로 인한 오류를 최소화하기 위해 조파판으로부터 300m 이격하여 수조중앙에 거치하였다. 가두리 시설의 파랑조건은 일반적 해양 구조물의 생애주기 대부분에 노출되어지는 설계파를 통해, 파고 5.5m, 주기 12sec의 정현파를 Bisel

transfer function과 조파판을 활용하여 조파하였다. 수심은 보통의 가두리 시설이 설치되는 해안수심특성을 고려하여 10m로 하였다.

Fouling 형상정도에 따른 파고의 변화를 정량화하기 위해 수치모의를 수행하였으며, 수치모의는 가장 강한 동수역학 모형인 Navier-Stokes식과 질량보존식에 준거하여 구성하였고, 수치모형의 이산화는 정교한 수치해석기법인 VOF법에 기초하여 수행되었다. 자유수면 혹은 유체와 물체간의 경계면 추적을 위해서는 VOF기법이 활용되며, 유동을 포함하는 복잡한 경계를 표현하기 위하여 FAVOR 방법을 사용하였다.



〈그림 3〉 수치모의 영역

### 3.5 수치모의 결과

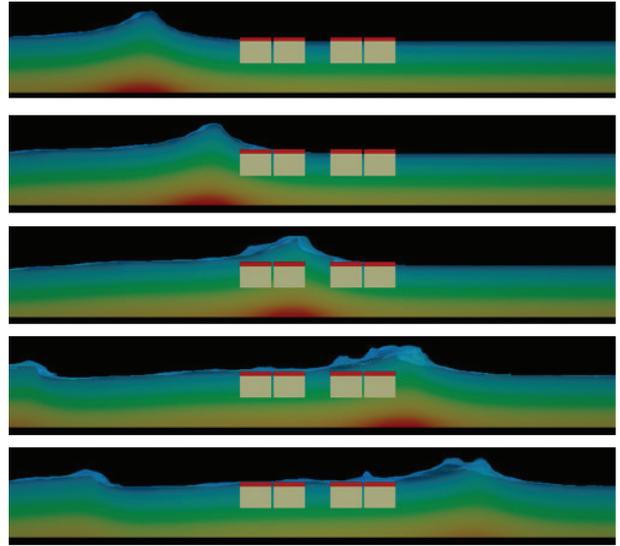
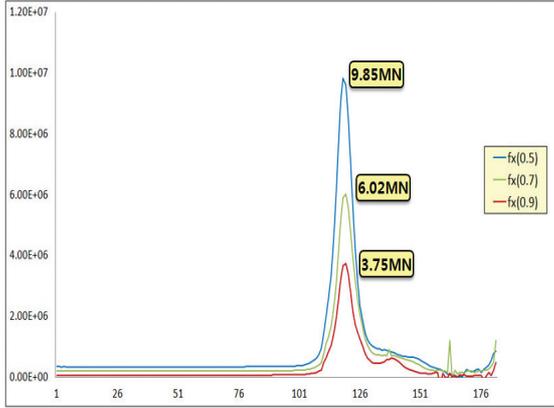
가두리망에 작용하는 항력(흐름) 중 fouling(해저부착생물) 등으로 한층 두꺼워진 어망 두께를 통한 항력증가를 비교하기 위해 가두리망 module에 각각  $p=0.9, 0.7, 0.5$ 의 공극률(porosity)을 적용하며 모의하였다. 수치모의 결과를 토대로 분석한 가두리망에 작용하는 파력은 다음 그림에서 확인할 수 있으며, 각 조건별 하단의 그림을 통해 수치모의 과정 중에 관측되어지는 수면형을 순차적으로 비교할 수 있다. 또한 수면형을 도식화한 그림을 통해 목표했던 파랑이 정확하게 조파되어, 정현하게 가두리 시설을 향해 진행되는 것을 확인할 수 있다. 수치모의 결과, 90%와 비교하여 50%의 공극률에서 3배 이상의 파력이 측정되는 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

가두리를 설치하기 전에 파랑, 흐름 등 설치 예정 해역의 환경 조건을 충분히 고려하여 그것에 작용하는 외력과 재료의 구조 해석 등 공학적 기법을 도입한 이론적인 설계를 거치지 않고 주로 현장의 경험에만 의존하



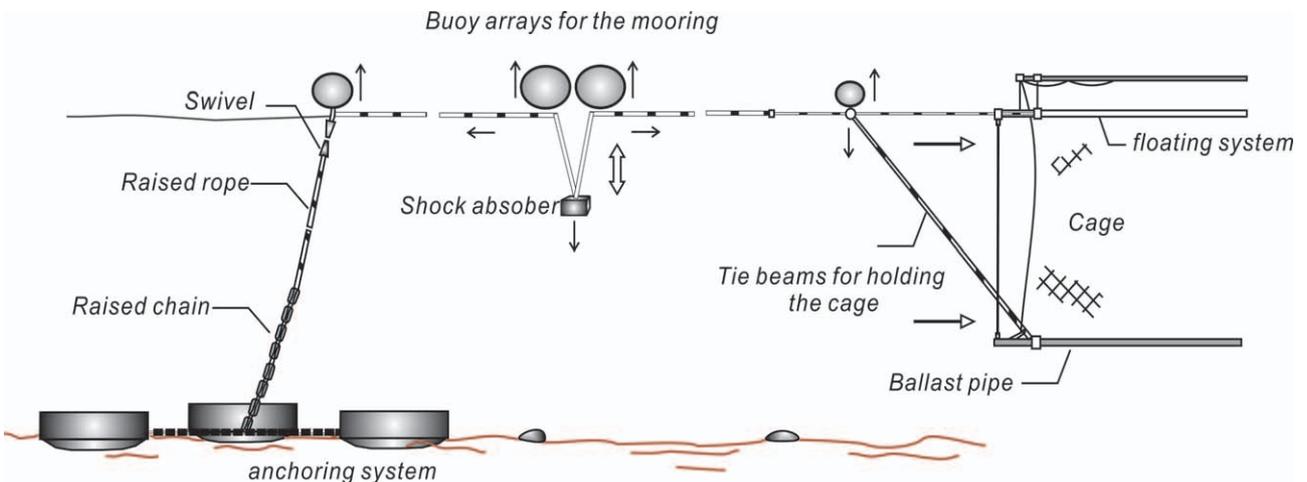
P = 0.9, 0.7, 0.5



〈그림 4〉 파랑에 노출된 전면 그물에 작용하는 파력 (p=0.9, 0.7, 0.5)

고 있다. 따라서 시설물의 안정성이 부족하며, 가장 많이 이용하는 재래식 목재 가두리의 경우 수면위에 노출된 프레임의 면적이 너무 커서 파도에 의한 힘에 노출된다. 또한, 볼트 너트로 조립한 모서리 부분이 로프 또는 타이어로 서로 연결되어 있기 때문에 이 부분이 매우 취약하여 큰 파도, 태풍이 발생할 경우 가두리 시설은 쉽게 파괴로 이어질 수 있다.

가두리의 계류 시설의 경우 주로 콘크리트 블록 또는 재래식 닻과 로프(합성섬유)로만 구성되어 있어 계류삭(로프)에 전달되는 과도한 충격력에 대한 완충 효과가 없어 계류삭(로프)이 장력에 의한 절단으로 유실된다. 이러한 가두리가 파손되는 1차 피해는 시설전체가 육상으로 표류하여 양식생물의 유실 및 전량폐사가 되는 2차 피해로 이어질 수 있다.



〈그림 5〉 양식 시설의 계류와 앵커 시스템

가두리망은 유수저항을 가장 크게 받으며 그로 인해 파단 또는 유실사고는 주로 가두리망에서 발생하며 이러한 사고를 방지하기 위해서는 가두리망에 대한 유수저항을 상세하게 파악이 전제되어야 한다.

Fouling(해저부착생물)이 가두리망에 미치는 영향을 규명하기 위해 가두리망 초기거치에 해당하는 유공성 구조물( $p=0.9$ ), 해저부착생물의 착근에 따라 면적이 상당히 증가된 경우에 해당하는 무공성 구조물( $p=0.7, 0.5$ )에 대해 수치모의를 수행하였다.

모의결과, 가두리망의 투영 면적에 따라 유수저항 초기에 비하여 약 3배까지 증가하여 가용기간에 따른 항력증가가 가두리 설계단계에서 충분히 반영되어야 할 것으로 판단된다.

가두리망에 대한 fouling(해저부착생물)정도에 따른 역학적 거동 분석을 통한 가두리설계에 대한 제언을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 닻이 풍파나 조류 방향에 의해 이동이 되지 않도록 설치해야 한다. 둘째, 추 또는 체인을 완충재로써 사용하여 파, 조류 등에 의해 프레임에 전달되는 충격을 완화시켜 지구 온난화로 인한 해양 환경변화에서도 안정성을 담보할 수 있는 계류시스템 기준을 제시하고 이를 구현할 수 있는 계류시스템이 차용되어야 할 것으로 판단된다. 

