

조류의 영향을 받는 가두리의 거동해석

이미경 · 이춘우[†]

부경대학교

Dynamic analysis of a cage affected by the current

Mi-Kyung LEE and Chun-woo LEE[†]

Pukyong National University

Abstract

A large cage system for the purpose of fishes farming in the open sea was influenced by various forces from the ocean environment. The deformation of the cage by these forces affects the safety of the cage itself, as well as that of the cultivated creatures.

In this research, theoretical model was established to analyzing dynamic movement influenced by current for cage. Also, to increase the accuracy of calculations, the reduction ratio of flow speed acquired using the flume tank experiment.

Applying the reduction ratio of flow speed to the numerical calculation, the calculation values were compared with the measured values in the flume tank experiment using cage model.

The results were as follows ;

1. When the flow speed of the flume tank is fixed, the decrease of the velocity of flow which is passed the upper panel side is proportion to the increase of porosity ratio of netting.
2. When the porosity ratio is fixed, the increase of the velocity of flow which is passed the upper panel side is proportion to the increase of velocity of flow.
3. When the porosity ratio and the flow speed of the flume tank are fixed, the decrease of the velocity of flow which is passed the upper panel side is proportion to the increase of attack angle.
4. As a result of comparison between the underwater shape by simulation which is applying the reduction ratio of flow speed from the experiment using plane netting and that by model experiment, it was found out that the result of the simulation was very close to that of model gear within $\pm 5\%$ error range.

Key words : numerical method(수치 계산), simulation(시뮬레이션), cage system(가두리 시설), dynamic movement(동적 운동), reduction ratio flow speed(유속 감소율)

서론

가두리는 어류를 일정한 공간에 가두어 축양하는 시설물로, 우리 나라에서는 주로 소형의 것을 내만

에 설치해 왔으나, 산업화에 의한 내만의 오염과 간척·매립 사업 등으로 인해 내만에서는 더 이상 설치적지를 발견하기 어려운 실정이다.

[†] Corresponding author : cwlee@pknu.ac.kr

그러나 지중해와 북유럽 등지에서는 외해에 대형의 가두리를 설치하여 참다랑어, 연어 등의 고가 어종을 축양하여 큰 수익을 올리고 있으며, 최근 미국과 캐나다와 같이 양식업에 대자본을 투자하는 나라에서도 외해에 대형 가두리를 설치하여 대규모의 축양 사업을 추진하기 위하여 많은 연구를 하고 있다.

외해에 설치되는 가두리는 내만에 비해 조류와 파동 등의 해양환경에 더욱 큰 영향을 받으며, 여러 개의 가두리가 연결되어 하나의 시스템으로 설치되므로 각 가두리의 수중 움직임은 가두리 상호간에 영향을 미친다. 따라서 외해에 설치되는 가두리의 경우 구조물의 설계 및 설치 시에 이러한 모든 조건을 충분히 고려하여야 한다.

이와 같은 조건들을 고려한 가두리의 동적 반응을 알아보기 위하여 여러 학자들이 많은 연구를 하고 있다. 그 중 Bessonneau, Marichal (1998) 등은 수중에서 유연한 그물의 역학적인 힘을 조사하기 위해 딱딱한 원통형의 막대 요소를 사용하여 해석하였다. Lee, Pei-wen (2000)은 가두리 구조물을 구성하고 있는 각각의 그물발에 대한 동적 운동을 조사하여 2차원 운동의 분석해를 얻어냈다. Tsukrov 등(2000, 2003)은 모리슨 방정식으로 모델링한 등가 트리스 접근법을 제시하였는데 이들은 변형이 가능한 트리스 구조로 각각의 그물판넬을 나타내어 시뮬레이션 하였다.

그러나 지금까지 가두리의 운동에 대한 수치계산과 시뮬레이션에 대한 연구에서 대부분의 경우 그물실을 딱딱한 고형체로 가정한 다음, 해양 조건이 그물체에 작용할 때 발생하는 저항을 계산하였으며, 힘을 받은 그물 망지의 형상 변화 보다는 가두리를 고정하고 있는 닻줄의 운동에 의한 장력 변화에 초점을 맞추고 있다.

본 연구에서는 외부 환경변화에 강하고 망지재료를 가장 유용하게 사용할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 원형 가두리에 대하여 조류의 영향에 의한 가두리의 동역학적 운동을 해석하기 위하여 이론모델을 구성하여 수치계산 하였다. 또한 수치계산의 정확도를 높이기 위한 수조실험을 실시하여 가두리망을 통과하기 전의 유속과 통과한 후의 유속의 변화를 측정하여 망지의 공극율과 영각의 영향에 따른 유속 감소율을 도출하고 이를 수치 계산에 반영 하였다. 이러한 수치 계산에 의한 시뮬레이션을 이용하여, 실제 사용되고 있는 가두리를 기준형으로 하여 제작된 모형을 이용한 실험에서 얻어진 형상 변화에 대한 결과와 비

교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 회류수조 실험

가. 실험 어구

(가) 망지의 d/l 의 변화에 따른 유속 감소율의 변화
본 연구에서는 d/l 가 서로 다른 세 종류의 망지를 사용하여 그물 망지를 통과하기 전과 후의 유속이 어떻게 변하는 지를 망지와 흐름이 이루는 각도(영각)별로 분석하였다. 본 연구에서의 d/l 는 그물발의 길이와 직경의 비를 나타내는 것으로서 그물감에서 공극율을 대표하는 값이다. 본 실험에서 사용된 그물 망지는 실제 가두리에서 사용되고 있는 랫셀 망지와, 이와 동일한 그물발의 길이를 가지며 발의 직경이 다른 망지로서 그 재질과 규격은 Table 1과 같다. 또한 이러한 망지들은 직경 4mm의 stainless 프레임에 고정하여 실험하였다.

Table 1. Netting materials of model nets used in the experiment

Net	Materials	d (mm)	l (mm)	d/l
A	Polyester	3.97	55	0.07
B	Polyethylene	4.98	55	0.09
C	Polyethylene	5.98	55	0.11

(나) 가두리 모형의 유속에 따른 형상변화

본 연구에 사용된 가두리 모형은 현재 지중해 몰타 지역의 수심 40m에 부설되어 있는 원형 가두리를 기준형으로 하여 제작하였다. 실제 구조물은 직경 50m, 깊이 25m의 원형 가두리로 PES 재질의 랫셀망(발 길이 : 55mm, 직경 : 4mm)을 망지로 사용하고 있다.

가두리 모형은 수조의 규모(10.2L×3.2H×2.8 W:m)를 고려하여 Tauti의 상사법칙에 따라 1/50의 크기로 제작하였으며, 모형 구조물의 규모는 Fig. 1과 같다. 모형 제작에 사용된 망지는 PA계통의 나일론 망은 실 망지를 사용하였으며, 이 과정에서 발생하는 비중의 차이는 침자의 무게를 통해 보완해주었다. 상사법칙을 적용한 실험어구와 가두리의 관계를 다음의 수식으로 나타낸다.

$$\Lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{50} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{d}{l} = 0.0727 \dots\dots\dots(2)$$

$$V^2 = \frac{d_2}{d_1} = 0.25 \dots\dots\dots(3)$$

$$V = \frac{V_2}{V_1} = 0.5 \dots\dots\dots(4)$$

$$F = \Lambda^2 V^2 = 1 \times 10^{-4} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 Λ 는 축척비, λ_1 과 λ_2 는 각각 실물과 모형의 각부치수, l 은 망목 한 발의 길이, d 는 망사의 직경, V 는 유속의 비, 그리고 F 는 부력, 침강력, 유체저항의 비이다.

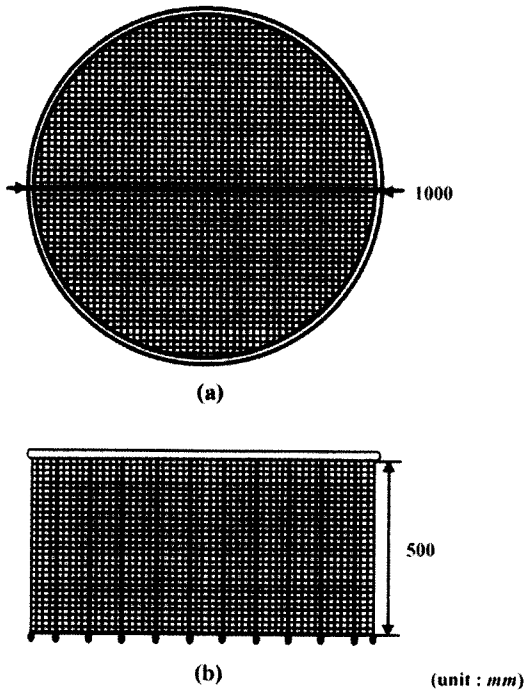


Fig. 1. Schematic view of the cage model.

(a) Top view(X-Y axis)

(b) Side view(X-Z axis)

나. 실험수조 및 장치

실험에 사용한 수조는 부경대학교에 설치된 수직 순환형 회류수조(관측부 길이 : 6.0m, 폭 : 2.2m, 수심 : 1.4m)이며, 실험 장치 및 계측 시스템의 구성은 Fig. 2와 같다. 수조의 유속은 프로펠러식 유

속계(VOT 2-200-20, KENEK, 측정범위 : 0.03 ~ 2.0m/s)를 사용하여 측정하였다.

실험에 사용된 장치와 계측 시스템을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

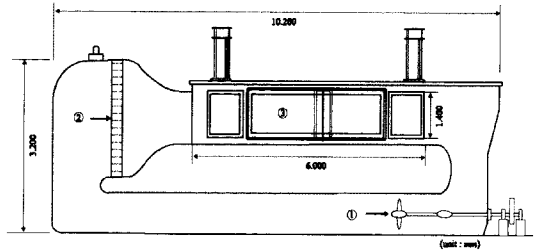
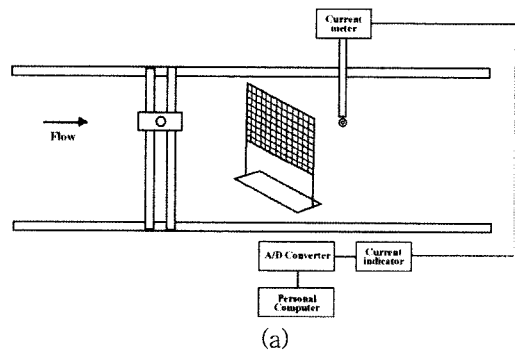


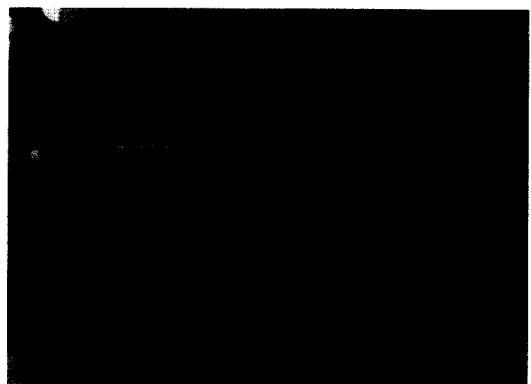
Fig. 2. Schematic drawing of the circulation water channel.

① impeller ② honey comb

③ observation window



(a)



(b)

Fig. 3. Arrangement of experimental apparatus in the circulating water channel (a) and frame in the circulating water channel (b).

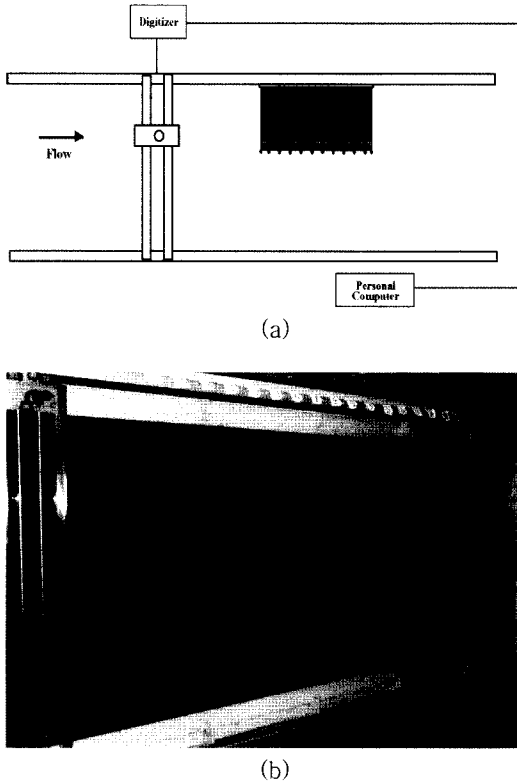


Fig 4. Arrangement of experimental apparatus in the circulating water channel (a) and cage model structure in the circulating water channel (b).

다. 실험방법

(가) 망지의 d/l 에 따른 유속의 변화

가두리 구조물에 흐름이 작용하는 경우 흐름의 방향으로부터 후방에 위치하는 망지는 전방의 망지에 비해 흐름의 영향을 적게 받는다. 이는 유속이 어떠한 장애물에 의하여 일정 부분 차단되어 유속이 감소되는 차폐효과에 의한 결과이다. Fig. 5는 원형 가두리 구조물에 작용하는 유속과 차폐효과에 따른 유속의 변화를 나타내고 있다.

본 실험은 d/l 가 다른 세 종류의 망지 A, B, C(A:0.07, B:0.09, C:0.11)에 대하여 흐름이 각 망지를 통과한 후의 유속을 거리별(간격 : 110mm)로 측정하였고, 이 때 유속의 증감 정도를 분석하였다.

또한 영각에 따라 일정한 영역 내의 망지의 투영면적이 달라지므로 망지를 통과한 후의 유속에도 변화가 생기게 된다. 본 실험에서는 유속이 그물 망지에 직각으로 들어오는 것을 0° 라고 하여, 영각이

각각 0° , 30° 와 60° 인 경우에 대하여 유속을 측정하였다.

Fig. 6은 유속을 측정한 위치를 좌표계로 나타낸 것으로 프레임의 설치 위치를 기준으로 하여, x축으로 9부분, y 축으로 20부분(간격 : 110mm)으로 나누어 각 위치의 유속을 측정하였으며, 수심별 유속을 나타내기 위해 z축으로 3부분(간격 : 100mm)으로 나누어 측정하였다.

유속은 0.3m/s와 0.6m/s의 2가지로 설정하여 각 조건별로 측정하였으며 유속계를 이용하여 측정된 유속 측정치는 매 유속마다 40초 동안 각각 2000개의 측정치를 컴퓨터에 입력해서 그 평균치를 사용하였다.

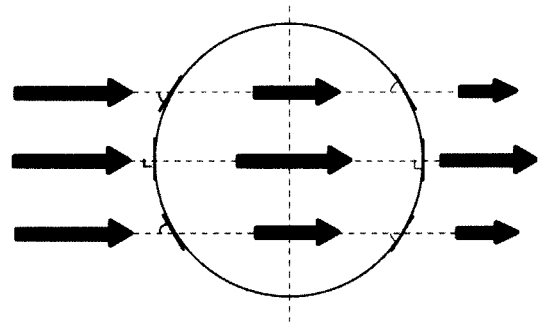


Fig. 5. Shielding effect according to the attack angle acting on the cage.

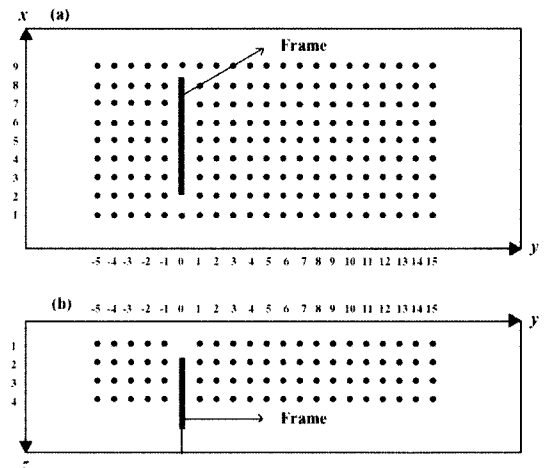


Fig. 6. Coordinate of measure position for flow speed.
 (a) Top view (X-Y axis)
 (b) Side view (X-Z axis)

(나) 모형의 유속에 따른 형상 변화

모형실험은 d/w 와 영각에 따른 유속의 변화 실험에서 얻어진 유속감소율을 시뮬레이션에 적용하였을 경우, 시뮬레이션을 통한 계산치와 수조 실험을 통한 측정치의 일치 정도를 확인하기 위하여 실행되었다. 회류수조에 설치된 원형 가두리 모형에 일정한 속도의 흐름을 흘려보냈을 때 망지의 형상을 관찰하고, 유속의 변화에 따른 모형의 형상변화를 분석하였다.

본 실험에서는 가두리 시스템에 작용하는 해양환경 조건 중 파랑에 의한 영향을 고려하지 않고 유속의 영향에 대해서만 분석하였다.

실험에 사용된 유속조건은 실험 기준으로 0.3m/s, 0.6m/s에 대하여 Tauti의 상사비를 고려하여 각각 0.15m/s, 0.3m/s에서 실험하였다.

유속의 변화에 따른 형상변화는 Digitizer와 Digital camera(Sony DSC-S70, Japan)를 이용하여 확인하였다.

2. 수치해석

가. 수치모델

가두리의 역학적 움직임을 시뮬레이션하기 위해서 사용된 수치 모델은 Mass-Spring 모델이다. 이 모델을 가두리에 적용시키기 위해서는 각종 속구들을 질점으로 하고, 실제 그물에 존재하는 그물코들도 수학모델의 질점으로 근사시켜 표현하였다.

수중에 부설된 가두리 구조물을 좌표계로 정의하면 Fig. 7과 같다. XY평면은 해수면과 동일한 평면이고, Z축은 어구의 심도를 나타낸다.

Fig. 8은 가두리 망지에 대하여 질량-스프링 모델을 적용시킨 것이다. 가두리 요소의 기본 운동 방정식은 다음과 같다.

$$m_i \ddot{q}_i = f_i \dots\dots\dots(6)$$

m_i 은 질점 i 의 질량, \ddot{q}_i 는 질점 i 의 가속도이며, f_i 는 질점 i 에 작용하는 힘이다. 질점에 작용하는 힘은 내력과 외력으로 구성된다.

여기서, 질점 간에 작용하는 내력은 망지를 구성하는 각 그물발의 탄성에 의한 힘으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_{int} = -\sum k_i \frac{r_i}{\|r_i\|} (\|r_i\| - l^0) \dots\dots\dots(7)$$

여기서, k_i 는 탄성계수이며, r_i 은 질점 i 의 위치

벡터, $\|r_i\|$ 은 위치벡터의 크기, l^0 는 질점간의 원래 길이이다.

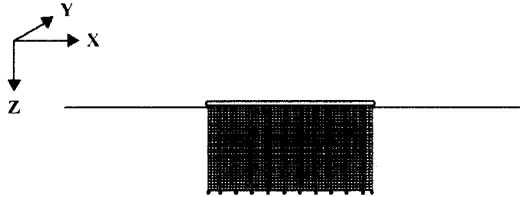


Fig. 7. A cage in a coordinate system.

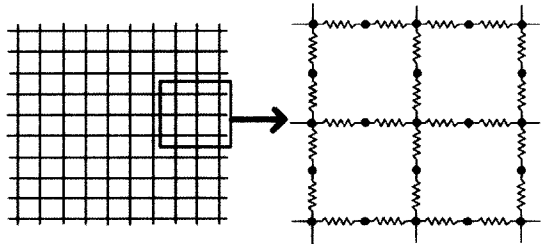


Fig. 8. Application of mass-spring model to net panel.

가두리에서 질점에 작용하는 외력으로 중력, 부력 및 침강력과 저항 등이 있다. 질점의 수중 무게에 해당되는 중력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_w = m_i g \dots\dots\dots(8)$$

여기서 g 는 중력가속도이다.

또한, 질점에 작용하는 저항은 어구에 조류와 파동이 작용할 때 어구의 형상을 결정하는 중요한 요소이다. 질점에 작용하는 저항은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_r = \frac{1}{2} C d_i \rho S_i v_i^2 \dots\dots\dots(9)$$

위의 식에서 ρ 는 해수의 밀도, S_i 는 질점 i 의 투영면적, v_i 는 질점 i 의 속도, $C d_i$ 는 질점 i 의 항력 계수로 질점의 운동방향이나 영각에 따라 달라진다.

나. 수치해법

외해에 부설되는 대형의 가두리 시스템은 여러 개의 가두리가 연결되어져 설치된다. 가두리의 그물 망지에 존재하는 그물코를 질점으로 간주하였을 때 대형 가두리 구조물 하나가 가지는 질점의 수는 약

150만개로 추정된다. 그러므로 전체의 가두리 시스템에 대하여 시뮬레이션을 할 경우 질점의 수가 엄청나게 많아지기 때문에 계산의 효율성이 떨어질 뿐만 아니라 현재 개인용 컴퓨터의 성능으로는 계산이 거의 불가능하다.

본 연구에서는 원형 가두리의 거동해석을 보다 효과적으로 실행하기 위해 가두리 시스템 중 하나의 가두리를 모델로 하였고, 가두리가 가지고 있는 그물코 16개를 하나의 그물코로 근사하여 시뮬레이션 하였다. 본 연구의 수치해석방법으로는 Newmark β 의 방법 중 일반적으로 안정되고 빠른 계산시간을 보장하는 것으로 알려진 사다리꼴 법칙($\alpha=0, \beta=0.25, \gamma=0.5$)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 평면망지를 이용한 유속 변화 분석

가. 망지의 d/l 에 따른 유속 변화 분석

Fig. 9는 유속이 일정할 경우 그물실의 직경이 다

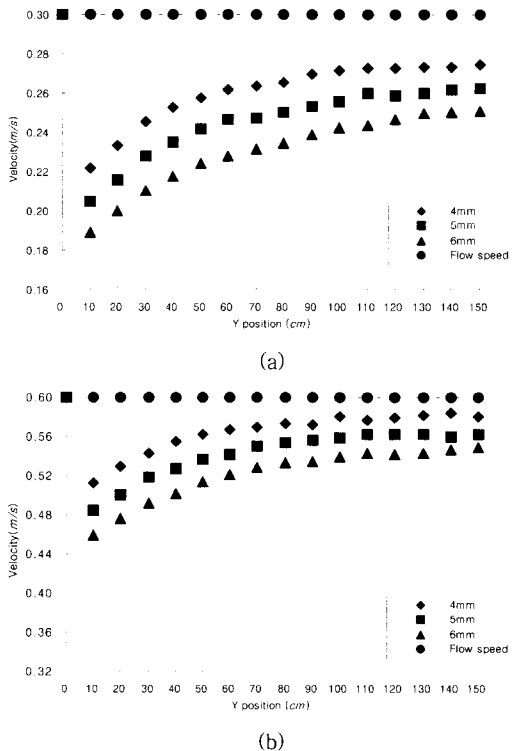


Fig. 9. Flow speed change by d/l of netting.
(a) 0.3m/s (b) 0.6m/s

른 세 종류의 망지에 대하여 각각 0.3m/s, 0.6m/s의 유속을 주었을 때 망지를 통과한 후의 유속을 위치별로 나타낸 결과이다.

Net C는 동일한 유속 조건에서 Net A와 B의 망지보다 유속의 감소율이 0.3m/s 일 때 최대 감소지점과 최소 감소지점에서 각각 16%, 9% 크게 나타났다. 0.6m/s 일 때 최대 12%, 7%까지 크게 나타났다. 이는 흐름의 영향을 받는 망지의 면적이 클수록 저항으로 소진되는 운동 에너지가 크기 때문이며, 이 때 Net C 망지의 d/l 는 다른 두 망지의 d/l 에 비해 각각 33%, 17% 크다.

또한 유속의 변화에 따른 유속 감소율은 유속이 0.3m/s 일 때의 유속 감소율이 0.6m/s 일 때의 유속 감소율보다도 약 5% 크게 나타났다. 이 결과에서 볼 때, 유속이 빨라질수록 망지에 작용하는 저항 계수가 작아지는 것으로 추측된다.

나. 영각의 변화에 따른 유속 변화 분석

Fig. 10, 11, 12는 0.3m/s, 0.6m/s 의 두 유속

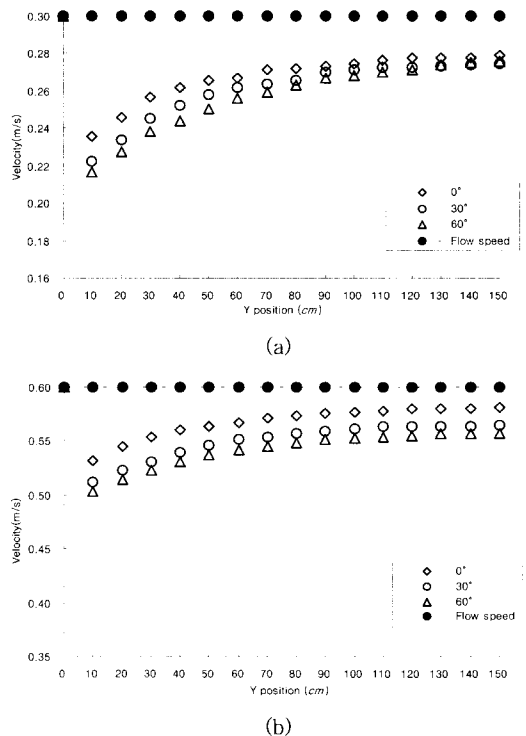


Fig. 10. Flow speed change by attack angle ;
Net A.
(a) 0.3m/s (b) 0.6m/s

조건 하에서 각 망지에 대하여 흐름의 영각을 각각 0°, 30°, 60°로 주었을 때 망지 후방의 유속을 보여주고 있다. Table 2는 각 망지가 각도에 따라 가지는 공극율을 나타내고 있다.

Table 2. Porosity ratio by attack angles

Pn/P (cm^2)	Type	Attack angle(°)		
		0	30	60
	Net A	0.036	0.079	0.190
	Net B	0.046	0.098	0.238
	Net C	0.055	0.118	0.285

Pn : 입사각에 따른 망사의 면적
 P : 망사의 면적

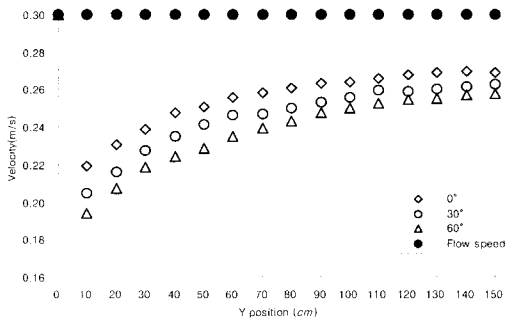
동일한 망지에 대하여 영각을 달리하였을 경우 영각이 클수록 유속 감소율이 크게 나타났다. 망지로부터 프레임 폭의 3배 길이에 해당하는 위치에서

측정한 유속은 대형 원형 가두리를 시뮬레이션 할 때 조류가 들어오는 방향으로부터 전방에 있는 망지의 영향을 받은 후 후방의 그물 망지에 작용하는 유속의 세기를 예측하기 위한 데이터로 사용하였으며, 본 논문에서는 이 지점에서의 유속의 감소율을 최소감소율이라고 상정하였다.

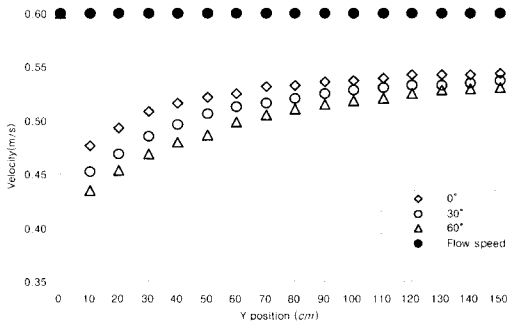
Net A의 경우 최소감소율은 초기 유속과 비교하여 최대 7% 감소한 유속이 측정되었으며, Net B는 11%, Net C에서는 15%로 각각 감소되었다.

이러한 결과를 통하여 망지가 가지는 공극율이 클수록 그 망지를 통과한 후의 유속의 감소율은 커지고, 망지와 흐름의 방향이 이루는 각도가 커질수록 일정한 영역 내에서 흐름의 영향을 받는 망지의 투영면적이 커지므로 이에 따라 유속의 감소율이 커진다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 유속이 빨라질수록 망지 전후방의 속도 간의 차이가 작아지고, 최소감소율 역시 영각에 따라 발생하는 유속 감소율의 편차가 작아지는 경향을



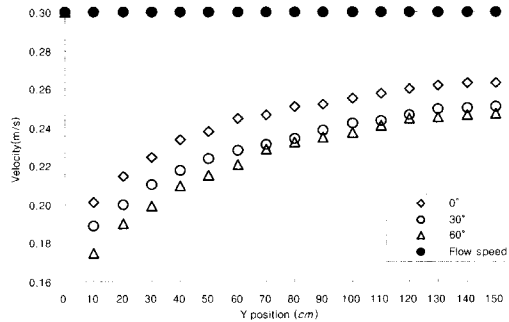
(a)



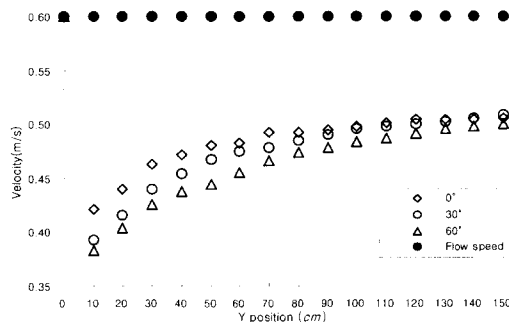
(b)

Fig. 11. Flow speed change by attack angle ; Net B.

(a) 0.3m/s (b) 0.6m/s



(a)



(b)

Fig. 12. Flow speed change by attack angle ; Net C.

(a) 0.3m/s (b) 0.6m/s

보인다.

본 실험에 대한 결과는 Table 3과 같다.

본 실험을 통해 얻어진 망지의 공극율과 영각의 변화에 따른 유속감소율은 실제 규모의 원형 가두리를 시뮬레이션 하는데 적용하였다.

Table 3. Flow speed change by porosity ratio and attack angle

Type	Velocity (m/s)	Attack angle (°)	Maximum reduction ratio (%)	Minimum reduction ratio (%)
Net A	0.3	0	30.7	6
		30	25.7	5.3
		60	28.8	6.9
	0.6	0	11.3	3
		30	14.5	5
		60	16	5.8
Net B	0.3	0	27.3	8.5
		30	32.1	9.2
		60	35.1	11.3
	0.6	0	20.9	6.3
		30	24.2	8.8
		60	26.3	10.5
Net C	0.3	0	31.6	11.6
		30	37.4	12.2
		60	42.8	15.2
	0.6	0	28.9	10.3
		30	32.4	12.8
		60	35.7	14.5

2. 가두리모형의 수중형상 해석

가. 모형의 유속에 따른 형상 변화

가두리의 수중형상을 해석하기 위하여 모형실험을 하였으며, 이 때 실물어구에 작용하는 유속을 각각 0.3m/s, 0.6m/s 로 상정하고 이 값을 Tauti 상사비에 적용하여 각각 0.15m/s, 0.3m/s 의 유속 조건에서 실험하였다.

Fig. 13은 유속이 각각 0.15m/s, 0.3m/s 일 때 가두리 모형의 형상의 변화를 보여주고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 유속이 빨라질수록 흐름의 영향을 받는 모형의 형상이 심하게 변하는 것

을 확인할 수가 있다. 특히 흐름의 방향으로부터 전방의 그물 망지는 후방의 그물 망지에 비해 더욱 옆판이 휘어있는데, 이는 흐름이 전방 망지를 통과하면서 일정부분 차폐되면서 후방 망지에 작용하는 힘이 감소되었기 때문이다.

또한 모형 형상은 유속 조건이 0.25m/s 일 때까지는 일정한 형상 변화를 보이다가, 이 유속 이후에 밑판이 위로 떠오르는 등의 큰 형상 변화를 보였다.



(a)



(b)

Fig. 13. The shape of cage model according to the flow speed.

(a) 0.15m/s (b) 0.3m/s

나. 시뮬레이션에 의한 거동 해석 및 모형실험과의 비교

Fig. 14는 망지의 공극율과 영각에 따른 유속 감소율을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 대하여 모형 가두리의 형상을 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 이 때 유속조건은 각각 0.15m/s, 0.3m/s 이다.

그림에서 보는 바와 같이 유속 감소율을 적용한 시뮬레이션의 결과는 유속 감소율을 적용하지 않은 경우에 비해 후방의 그물 망지가 덜 휘어져 있어 모형실험을 통해 얻은 실험결과와 유사함을 알 수 있다.

Fig. 15에서는 가두리의 형상을 모형실험의 결과와 시뮬레이션의 결과를 가지고서 비교하였다.

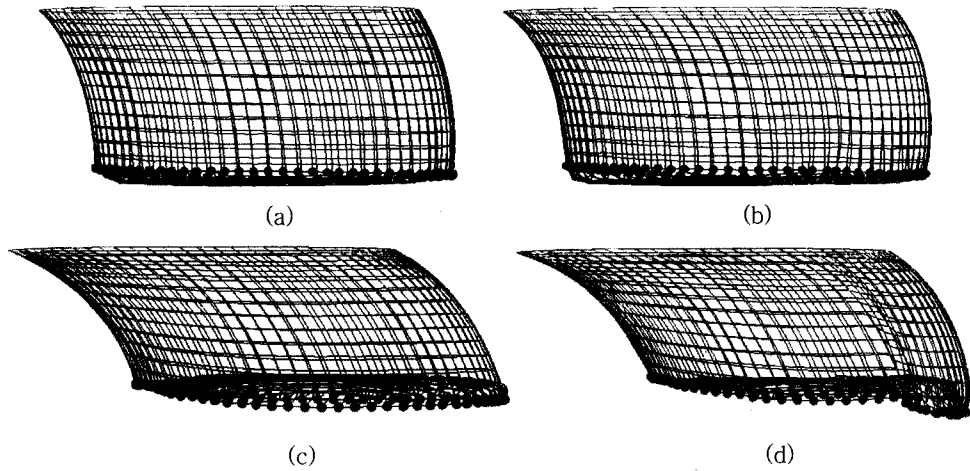


Fig. 14. The simulation results according to apply the reduction ratio of flow speed or not.
 (a) 0.15 m/s, not apply
 (b) 0.15 m/s, applied the reduction ratio of flow speed
 (c) 0.3 m/s, not apply
 (d) 0.3 m/s, applied the reduction ratio of flow speed

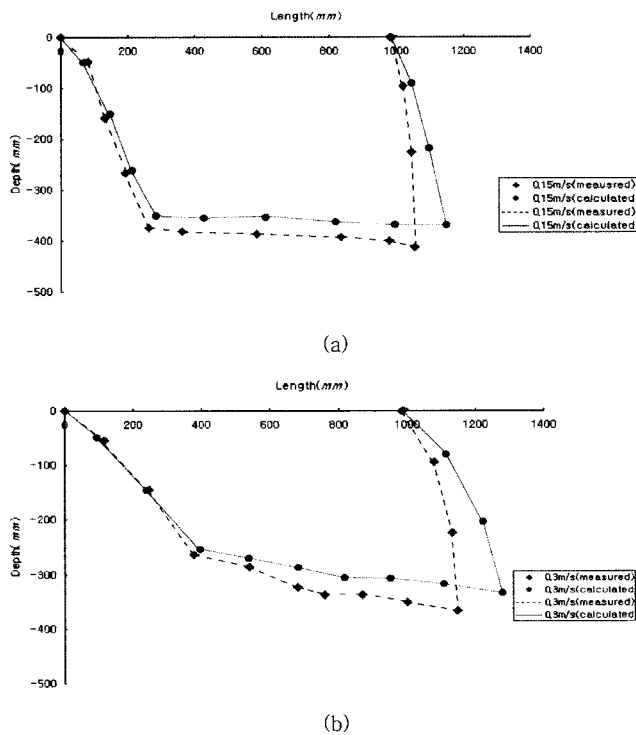


Fig. 15. Comparison of the results between experiment value and calculation value before the reduction ratio of flow speed.
 (a) 0.15 m/s (b) 0.3 m/s

이들 결과에서 볼 때 시뮬레이션과 모형실험의 결과는 최대 5%의 오차를 가지지만 일반적으로 3% 안팎의 오차를 나타냄으로써, 시뮬레이션에 의한 계산치와 모형실험을 통한 측정치가 비교적 일치함을 확인할 수 있었다.

흐름은 가두리 시설에 작용하여 가두리의 수중 형상과 동태에 영향을 주고 결과적으로는 가두리에서 축양하고 있는 어종의 성장과 안전에 큰 영향을 미친다. 특히 가두리 구조물 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 그물 망지는 매우 유연하여 흐름의 세기에 따라 형상에 큰 영향을 받기 때문에, 보다 안정적이고 효율적인 구조의 가두리 시스템을 설치하기 위해서는 가두리 구조물의 설계 시 이와 같은 해양환경 조건의 영향을 충분히 고려해 주어야 한다.

그러므로 본 연구에서는 장애물의 크기, 즉 흐름의 영향을 받는 그물 망지의 면적뿐만 아니라, 흐름이 망지에 작용하는 각도(영각)에 따른 영향도 고려하여 수치 계산하였으며, 이를 통해 보다 정확한 시뮬레이션의 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 해양환경 조건 중 가두리에 작용하는 조류의 영향에 대해서만 검토하였다. 그러나 가두리 시설은 닻줄에 의해 해저에 고정되어 있으므로 구조물의 역학적 움직임을 보다 정확하게 분석하기 위해서는 파랑의 영향을 고려해 주어야 한다. 파랑에 의한 구조물의 동태에 따라 닻줄에 걸리는 장력의 분포를 정확히 분석함으로써 파손의 위험이 있는 부분을 예측할 수가 있다. 이러한 검토 분석을 기반으로 해양 환경 조건에 맞추어서 닻줄

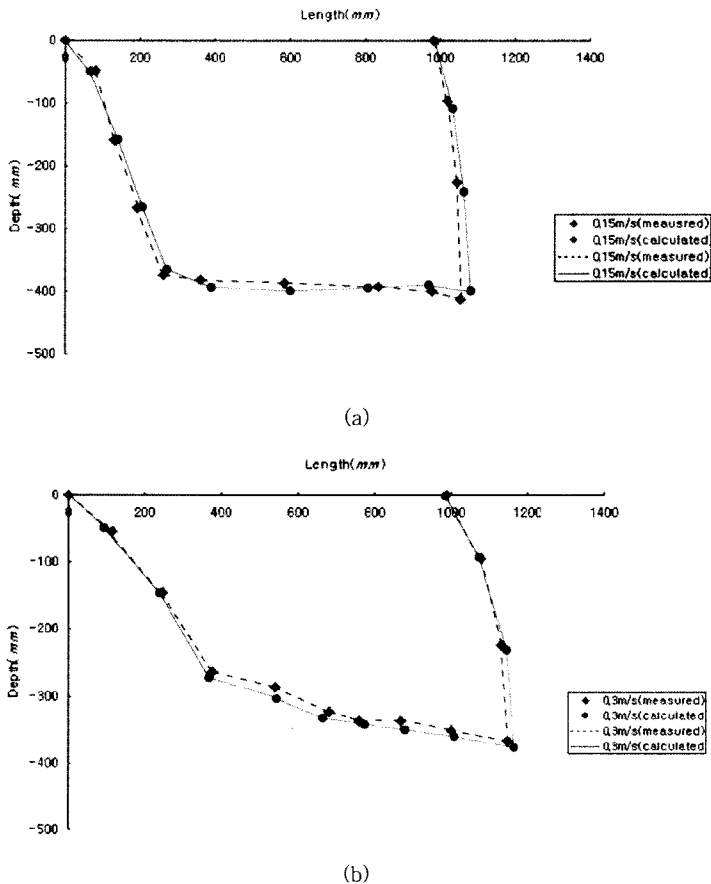


Fig. 16. Comparison of the results between experiment value and calculation value after the reduction ratio of flow speed.

(a) 0.15 m/s (b) 0.3 m/s

의 설치 위치 및 종류, 부력재의 재질 및 크기, 침자의 분포 위치 및 크기 등을 선택할 수 있는 합리적인 가두리 시설의 설계를 통해서 경제적이고 안전한 가두리 시스템을 운영할 수 있을 것이다.

요 약

어류 축양을 목적으로 외해에 설치되는 대형 가두리 시설은 해양환경 조건으로부터 다양한 외력을 받으며, 이러한 외력에 의한 가두리의 동태는 가두리 시설 자체의 안전과 축양물의 생존과 성장에도 큰 영향을 준다. 그러므로 가두리를 설계하는 단계에서 외력에 의한 가두리의 역학적 움직임을 정확히 파악할 수 있다면 보다 안전하고 효율성 있는 구조물을 설치할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 원형 가두리에 대하여 조류에 따른 가두리의 동역학적 운동을 해석하기 위하여 이론 모델을 구성하여 수치해석을 하였다. 이 때 구조 실험을 통해 흐름에 놓여지는 망지의 여러 조건에 따른 망지 후방의 유속감소율을 적용함으로써 수치 계산의 정확도를 높였다. 또한 수치 계산에 의한 시뮬레이션의 결과와 모형 실험에 의한 결과를 비교 분석하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유속이 일정할 때, 망지의 d/l 가 커질수록 망지를 통과한 후의 유속은 감소하였다.
2. 망지의 d/l 가 일정할 때, 유속이 커질수록 망지를 통과한 후의 유속은 증가하였다.
3. 망지의 d/l 와 유속이 일정할 때, 망지로부터의 영각이 커질수록 망지를 통과한 후의 유속은 감소하였다.
4. 평면 망지 실험에서 얻어진 유속감소율을 적용한 시뮬레이션에 의한 수중 형상과 모형 실험에 의한 가두리의 수중 형상을 비교한 결과, 오차는 $\pm 5\%$ 이내로 나타나 실험결과에 대한 시뮬레이션의 결과가 잘 일치함을 나타내었다.

: Current force on cage, net deflection, Engineering for Offshore Fish Farming.

Besooneau, J.S. and Marichal, D. (1998) : Study of the dynamics of submerged supple nets (application to trawls). Ocean Engineering 25(1), 563-583.

Fridman, A.L. (1986) : Calculations for fishing gear designs, FAO Fishing Manuals, 150-230.

Lee, H. H. and Pei-Wen, W. (2000) : Dynamic behavior of tension-leg platform with net cage system subjected to wave forces, Ocean Engineering 28, 179-200.

Malcolm C. M. Beveridge. (1987) : Cage aquaculture. Fishing News Books, 39-101.

Provot, X. (1995) : Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior. Graphic Interface '95, 147-154.

Tsukrov, I., Ozbay, M., Fredriksson, D.W., Swift, M.R., Baldwin, K. and Celikkol, B. (2000) : Open ocean aquaculture engineering : numerical modeling, Marine Technology Society Journal 34(1), 29-40.

Tsukrov, I., Eroshkin O., Fredriksson, D.W., Swift, M.R. and Celikkol, B. (2002) : Finite element modeling of net panels using a consistent net element, Ocean Engineering 30, 251-270.

김태호 (2000) : 어업용 프레임 구조물의 역학적 특성에 관한 연구, 부경대학교 대학원 해양공학과 공학박사 학위논문.

김태호 · 김재오 · 김대안 (2001) : 우리형 그물의 유속에 따른 변형 및 적정 침자량, 한국어업기술학회지, 37(1), 45-51

차봉진 · 이춘우 · 이주희 · 김현영 (2002) : 중층 트롤 어구 시스템 운동의 유체 역학적 시뮬레이션, 한국어업기술학회지, 38(2), 164-171.

참고문헌

- Aarsnes, J.V., Rudi, H. and Loland, G. (1990) 2004년 7월 28일 접수
- 2004년 7월 29일 수리