



이학석사 학위논문

내부용적이 동일한 여러 개 가두리의

저항과 동적거동에 대한 해석



2020년 2월 부경대학교 대학원

수 산 물 리 학 과

최 규 석

이학석사 학위논문

내부용적이 동일한 여러 개 가두리의

저항과 동적거동에 대한 해석

지도교수 이 춘 우



2020년 2월

부경대학교 대학원

수 산 물 리 학 과

최 규 석

최규석의 이학석사 학위논문을 인준함.

2020년 2월 23일





Table of contentsi
List of figures iii
List of tablesiv
AbstractV
I. 서 론
Ⅱ. 재료 및 방법
1. 가두리 시스템의 구조물
2. 가두리 구조물의 모델링6
3. 시뮬레이셔 조건
Ⅲ. 결과 및 고찰13
1. 유속에 따른 동적거동13
2. 유속에 따른 저항
3. 파고에 따른 동적거동과 저항
Ⅳ. 결 론 및 요약
참고문헌
감사의 글

List of figures

Fig.	1.	Structure of fish cage systems5				
Fig.	2.	Placement of virtual mathematical mesh using7				
Fig.	3.	Direction of current and waves				
Fig.	4.	Response of cage systems according to velocities				
Fig.	5.	Displacement measurement position A \bulletB 15				
Fig.	6.	Displacement measurement position A according to velocities 16				
Fig.	7.	Displacement measurement position B according to				
		velocities 17				
Fig.	8.	Total resistance of cage systems for the currents				
Fig.	9.	Response example of the cage system1 to waves of height				
		2m, 4m, 6m and length 250m				
Fig.	10.	Displacement measurement position A according to				
		waves of height 2m20				
Fig.	11.	Displacement measurement position A according to				
		waves of height 4m ······21				
Fig.	12.	Displacement measurement position A according to				
		waves of height 6m ······22				
Fig.	13.	Displacement measurement position B according to				
		waves of height 2m ······23				
Fig.	14.	Displacement measurement position B according to				
		waves of height 4m ······24				
Fig.	13.	Displacement measurement position B according to				
		waves of height 6m ······25				

List of tables

Table 1.	Specific of cage	3
Table 2.	Specifications of netting and rope	3
Table 3.	Maximum total tension of the mooring line with different	
	cage systems	27



Numerical Analysis of Resistance and Dynamic Behavior of Gravity Cage Involving Multiple Cages of the Same Internal Volume

Kyusuk Choi

Department of Fisheries Physics, Pukyong National University

Abstract

In fisheries, the importance of designing efficient fish cages is being emphasized, as aquaculture has become more production than capture fishing. Particularly, the gravity cage system is one of the popular fish cage system in Korea. Currently, gravity cages of various shapes and sizes are being widely designed and installed in offshore and inland seas.

The cage is subject to external forces, such as currents and waves, and the shape of the structure and tension on the ropes changes according to these external forces. Thus, it is important to accurately calculate these dynamic behavior, including the external forces and tension on the structure during the design stage. In this study, three

- iv -

types of cage systems with an equal internal volume of 8000 m3 were analyzed using mass-spring models and their behavior was interpreted through simulations.

These simulations were used to analyze the behavior and tension of the ropes in response to currents and waves to aid in the selection of individual cage sizes for a given total volume. The numerical calculation results indicate that the resistance increased with flow rate in all cages, and internal volume reduction rate increased as well. Further, as the number of cages increased for all flow rates, total resistance increased.



I. 서 론

최근 세계수산물 총 생산 중 양식 생산량은 1억 1천만톤으로 어업생산량 9천백만톤 보다 많다. 또한 양식 생산량은 매년 약 5% 이상 성장하고 있 으나 어업생산은 감소하고 있다. 기능성을 갖춘 양질의 동물성 단백질의 수요증가와 더불어 수산물의 수요는 계속 증가되고 있어서 양식에 의한 공 급확대에 관심이 커지고 있다. 양식업은 여러 종류로 나눌 수 있는데, 위치 에 따라 육지와 해상으로 나누어지며, 또한 내해양식, 외해양식처럼 설치되 는 장소에 따라서도 나누어 질 수 있다. 이와 같이 다양한 양식시설이 존 재하며, 효율적 양식시설 설계의 중요성 또한 더욱 커지고 있다.

해면에서 실시되는 양식어업 구조물 중 어류양식 가두리는 국내에서도 큰 비중을 차지하는 양식 구조물 중 하나이다. 현재 가두리 시설은 부유식이 많이 사용되고 있으며, 외해 및 내해에 여러 가지 크기와 모양으로 설치되 고 있다. 국내에서 많이 사용되는 사각 가두리는 '표준양식시설 선정에 따 른 시설규격 및 설계도'에 따르면 PE 소재로 10m × 10m × 10m 의 크기 이며, 특징은 작업 안정성이 뛰어나며, 관리의 편의성으로 인한 비용 절감 효과를 기대할 수 있어서, 많이 이용되고 있다. 수중 구조물과 마찬가지로 가두리 구조물은 조류와 파랑 등의 외력을 받으며 외력에 따라 형상이 변 하고, 계류줄에 걸리는 장력도 달라진다. 이처럼 가두리 구조물은 외력에 의한 움직임과 구조물에 걸리는 장력을 포함한 역학적 움직임을 정확히 계 산하는 것이 구조물 설계단계에서 매우 중요하다.

가두리를 포함한 수중 유연구조물의 동적 거동 및 반응에 대한 연구는 앞 서 많이 이루어졌다. Tsukrov et al. (2003)은 가두리에 사용되는 망지의 거동을 유한요소법으로 해석하였고, Fredriksson et al. (2003)은 유한요소

- 1 -

법을 이용하여 가두리의 수치계산과 현장실험을 이용하여 수치모델을 검증 하였다. Lee et al. (2005)은 질량-스프링 모델로 수중 유연 구조물을 모델 링하고 수식화 하였다. Li et al. (2006)은 가두리망의 거동을 집중질량시스 템을 통해 해석하였다. Lee et al. (2010)은 수중 유연구조물을 컴퓨터상에 서 설계하고, 설계된 구조물의 환경 외력에 대한 응답을 시뮬레이션을 통 하여 확인 할 수 있는 해석도구를 개발하였다.

이러한 연구들은 과거에 경험에 의존하여 설계하였던 것과는 다르게 구 조물에 대한 외력의 응답을 정량적으로 확인 할 수 있게 해주었다. 그러나 대부분의 연구는 하나의 가두리에 대한 거동을 해석한 것으로 여러개의 가 두리가 결합되어 설치되는 가두리 시스템에 대한 해석은 거의 없다. 특히 이러한 가두리 시스템을 구성할 때 총 가두리 용적이 주어진 경우 개별 가 두리의 크기를 어느 정도 크기로 하는 것이 유체역학 측면에서 유리한 가 에 대해서는 알려지지 않았다.

본 연구에서는 가두리 총 내부용적 8000 m³이 주어진 경우 이것을 각각 2, 4, 8개로 나눈 3가지 종류의 가두리 시스템을 질량-스프링 모델을 이용 하여 모델링한 후 시뮬레이션을 통하여 거동을 해석하였다. 시뮬레이션에 서는 조류와 파랑에 대한 가두리의 거동과 장력을 분석하여 가두리 전체 용적이 주어졌을 때 개별 가두리 크기를 선택하는데 도움이 되는 정보를 제공하고자 하였다.

- 2 -

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 가두리 시스템의 구조물

가두리 구조물은 그물감, 줄, 틀, 뜸과 침자 등이 결합되어 있는 구조이 며, 조류와 파랑 등의 외력을 받으며 외력에 따른 형상의 변화와 고정하는 줄의 장력도 달라진다. 본 연구에서는 내부용적 8000 m³를 가진 가두리를 각각 8개, 4개, 2개로 나누었다. 각각 나눈 가두리의 수에 따라 System1, System2, System3로 명하였다.

Table 1. Specifications of cage system

	5	Individual cage specification				
	Number of cage	Breadth	Length	Depth	Internal volume	Total volume (m^3)
		(m)	(m)	(m)	(m ³)	
System 1	8	10	10	10	1,000	8,000
System 2	4	14.1	14.1	10	2,000	8,000
System 3	2	20	20	10	4,000	8,000

Table 2. Specifications of a cage

	Thickness (mm)	Mesh size (mm)	Material
Netting	4	55	Steel
Rope	40	_	Nylon
Frame	_	_	Steel

개별 가두리는 모두 사각형으로 설계되었고, 가두리 모양을 유지하는 틀 은 강철로 구성하여 외력의 작용에도 변형이 없는 강체로 간주하였다. 가 두리의 크기는 다르지만 강철 틀의 두께는 모두 같도록 하였다. 이러한 특 징은 Table 2에 나타내었다. Fig 1. 은 각 가두리 시스템이 계류줄에 고정 되었음을 보여준다. 가두리의 수에 따라 연결된 줄의 구조는 조금씩 다르 며, 고정하는 줄의 배열은 유사하다. 설치된 가두리의 수심은 모두 50m로 같다. 세 가지의 가두리 시스템의 전체 부력과 침강력은 각각 5124 kg 과, 3950 kg이다.



(a)



(c)

Fig. 1. Structure of fish cage systems ((a) System 1, (b) System 2, (c) System 3).

2. 가두리 구조물의 모델링

본 연구에서 모델링한 가두리는 사각형 가두리로 사각의 틀은 강체이고, 각 면에는 유연체인 그물이 붙어있는 형태이다. 즉 강체와 유연구조물이 결합된 복합구조물이다. 가두리는 강체 틀에 유연구조물인 그물이 연결된 형상으로 질량-스프링 모델로 기술하였다. 질량-스프링 모델을 이용한 유 연 구조물의 해석연구는 많이 있었다. 그 예로 트롤 그물을 대상으로 한 Cha et al. (2003), 연승을 대상으로 한 Lee et al. (2005), 양식 가두리를 대상으로 한 Lee et al. (2008), Lee et al. (2011) 등이 있다.

본 연구에서는 실점을 망지의 매듭에 배치하고, 그물 발의 중간에도 질점 을 배치하여 각각의 질점들이 질량이 없는 스프링에 의해 연결된 구조를 사용하였다. 이러한 방법을 시스템에 적용하면 많은 질점이 생긴다. 이렇게 많은 질점이 있을 경우에 수치계산 시간이 상당히 늘어나는데, 이를 효율 적으로 수행하기 위해 질량, 중량, 투영면적, 역학계수 등이 동일한 물리적 특성을 가진 적은 수의 가상 그물코로 근사하는 방법을(mesh grouping) 적용하였다. (Lee et al., 2005a, 2008a, 2011, 2015; Kim et al., 2007). 방법 에서 가상의 그물코와 실제의 그물코는 기하학적으로 동일하다고 가정하였 다. 질량-스프링 모델을 사용하여 가상의 그물의 발(bar)은 원통형 구조물 로, 매듭(knot)은 구로 가정하였다. 즉 가상의 수학적 그물이 가지고 있는 물리적인 값은 실제 망지의 발과 매듭을 더한 총 합이다. 계류줄은 동일한 길이로 분할하여 질량-스프링 모델을 적용하였다.



Fig. 2. Placement of cage (a) flexible structure and (b) rigid body.

2.1. 운동방정식

각각 질점에 대해 운동방정식을 기술하면 식(1)과 같다.

$$(m + \Delta m)\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{f}_{int} + \mathbf{f}_{ext}$$

(1)

여기서, m은 질점의 질량, Δm은 부가질량, q̈는 질점의 가속도, f_{int}는 질점 간에 작용하는 내력, f_{ext}는 질점에 작용하는 외력벡터이다. 부가질량은 다음의 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta m = \rho_{sw} V_N K_m \tag{2}$$

여기서, ρ_{sw} 는 해수의 밀도이다, V_N 은 질점의 부피, K_m 은 부가질량 계수이 며, K_m 은 그물의 매듭, 뜸, 침자 등을 구로 간주하여 식(3)으로 계산하였다. (Wakaba and Balachandar, 2007; Lee et al, 2008a, 2008b, 2015).

$$K_m = 1 + \sin \alpha$$

여기서, α는 영각이다.

2.2. 외력과 내력

내력은 각각의 질점과 질점사이에 연결된 스프링에 적용되는 힘이다. 이 힘은 계류줄과 망지에 적용된다. 질점 사이의 내력은 다음과 같은 식(4)로 나타낸다.

$$\mathbf{f}_{\rm int} = -\sum k\mathbf{n}(|\mathbf{r}| - l^0)$$

(4)

(3)

$$k = \frac{EA}{l^0} \tag{5}$$

여기서, E는 재료의 유효 영율, A는 재료의 유효단면적을 나타낸다.

외력은 질점과 환경사이의 상호작용을 나타낸 힘이다. (Lee et al., 2008a,b, 2015). 외력은 또한 항력 F_D , 양력 F_L 및 부력 또는 침강력 F_B 을 포함한 질점에 작용한다. 외력은 식(6)으로 서술된다.

$$\mathbf{f}_{\text{ext}} = \mathbf{F}_{\mathbf{D}} + \mathbf{F}_{\mathbf{L}} + \mathbf{F}_{\mathbf{B}} \tag{6}$$

항력 과 양력은 다음과 같다.

$$\mathbf{F}_{\mathbf{D}} = -\frac{1}{2} C_D \rho_{sw} A_p U^2 \mathbf{n}_v \tag{7}$$

 $\mathbf{F}_{\mathbf{L}} = \frac{1}{2} C_L \rho_{sw} A_p U^2 \mathbf{n}_L \tag{8}$

여기서, C_D 는 항력계수, C_L 은 양력 계수, ρ_{sw} 는 해수의 밀도 ($kgw.s^2/m^4$), A_P 는 구조물의 투영 면적 (m^2), U는 합속도 벡터 U의 크기이며, U의 크 기는 조류의 속도벡터에서 질점의 속도 벡터를 빼서 구할 수 있다. 벡터 \mathbf{n}_v 는 합속도 벡터의 단위벡터이다. \mathbf{n}_L 은 양력의 방향을 나타낸다. 각 요소 들의 양력 방향은 벡터의 외적 $\mathbf{U} \times (\mathbf{U} \times \mathbf{r})$ 으로부터 구할 수 있으며, 이 벡터 의 크기를 나누면 단위벡터 \mathbf{n}_L 을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{n}_{L} = \frac{\mathbf{U} \times (\mathbf{U} \times \mathbf{r})}{\left|\mathbf{U} \times (\mathbf{U} \times \mathbf{r})\right|}$$
(9)

이 식에서 \mathbf{U} 는 합속도 벡터이고, 이것은 질점의 속도벡터 \mathbf{U}_m , 조류의 속도벡터 \mathbf{U}_c 및 파랑에 의해 야기되는 물 입자 속도벡터 \mathbf{U}_w 의 합으로 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_m - (\mathbf{U}_c + \mathbf{U}_w) \tag{10}$$

파랑은 선행연구에서 서술되어있다(Lee et al., 2008a, 2015). 항력과 양력 계수를 얻기 위하여, 속도벡터 **U**와 그물 발의 위치벡터**Γ**사이에서 영각 α는 다음식으로 결정된다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\mathbf{U} \cdot \mathbf{r}}{|\mathbf{U}||\mathbf{r}|} \right]$$
(11)

구조물의 항력 및 양력계수는 선행된 연구 논문에서 사용한 것과 동일하 다. (Lee et al., 2005a, 2015; Kim et al., 2007).

질점의 부력과 침강력($\mathbf{F}_{\mathbf{B}}$)는 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_{B} = (\boldsymbol{\rho}_{i} - \boldsymbol{\rho}_{sw}) V_{n} \mathbf{g}$$
⁽¹²⁾

여기서, ρ_i 는 재료의 밀도, ρ_{sw} 는 해수의 밀도, V_n 은 질점의 부피, \mathbf{g} 는 중 력가속도이다.

2.3. 계산 방법

외력 및 내력을 모두 고려하면 운동방정식은 시간 영역에서 다음과 같은 비선형 2계 미분방정식으로 변환된다.

$$M\ddot{\mathbf{q}}(t) = \mathbf{F}_{\text{int}}(t) + \mathbf{F}_{\mathbf{D}}(t) + \mathbf{F}_{\mathbf{L}}(t) + \mathbf{F}_{\mathbf{B}}(t)$$
(13)

여기서 *M* 은 질점의 총 질량이고 $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ 은 가속도이다. 식 (13)은 두 개의 1계 미분 방정식 식(14), 식(15)로 변환된다.

$$\dot{\mathbf{q}}(t) = \mathbf{V}_m(t) \tag{14}$$

$$\dot{\mathbf{V}}_{m}(t) = M^{-1}[\mathbf{F}_{\text{int}}(t) + \mathbf{F}_{\mathbf{D}}(t) + \mathbf{F}_{\mathbf{L}}(t) + \mathbf{F}_{\mathbf{B}}(t)] \dot{\mathbf{q}}(t) = \mathbf{V}_{m}(t)$$
(15)

본 연구에서는 위 방정식은 제 4차 Runge-Kutta 방정식을 사용하여 적분 하였다.

3. 시뮬레이션 조건

수치 계산에서는 가두리의 프레임을 변형이 없는 강체로 간주하고, 이 프 레임에 연결된 망지는 유연체에 의한 변형을 고려하여 계산하였다. 시뮬레 이션 된 조류의 속도는 0.1-1.5 knots 이고, 0.1 knot의 간격으로 거동변화 와 계류줄 끝단 장력을 계산하였으며, 파랑에 대해서는 파장이 250 m에서 파고가 2 m, 4 m, 6 m 에 대한 계류줄 끝단 장력과 가두리의 거동변화에 대해 계산하였다. 수치해석을 위한 시뮬레이션의 계산간격은 0.0001s로 하 였으며, 조류와 파고의 방향은 Fig 3 의 화살표와 같은 방향으로 작용하는 것으로 가정하였다.

실제 가두리시스템에서는 배열에 평행한 조류가 작용하면 후면의 가두리 는 앞선 가두리에 비해 유속이 줄어든다. 본 연구에서는 실험과 다른 연구 결과를 고려하여 가두리당 9.8%의 감소율을 적용하여 수치 계산을 수행하 였다. (Geir et al.,1993; Zhao et al., 2007, 2013)



Fig.3. Direction of current and waves

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유속에 따른 동적거동

유속에 따른 3개의 가두리 시스템의 동적거동은 Fig. 4에 나타내었다. 유 속이 증가함에 따라 가두리의 변형과 변위가 커졌다.



(c)

Fig.4. Response of cage systems according to velocities ((a) System 1, 2, 3 at 0.2 Kn't, (b) Systems 1, 2, 3 at 0.6 Kn't, (c) Systems 1, 2, 3 at 1.2 Kn't).

유속에 따른 가두리의 변위 측정 위치는 Fig. 5에 나타낸 것처럼 상류 측 A점과 하류 측 B점에 대해서 측정하였고, 결과는 Fig. 6 과 Fig. 7에 나타 내었다. 유속에 따라 변위는 A점 및 B점 모두에서 수평 및 수직 방향으로 커졌다. A점에서 수평방향으로 변위는 유속이 커질수록 System 3, System 2, System 1 순으로 나타났고, 수직방향에서는 유속이 0.6 knot 이 하일 때에는 변위가 크게 발생하지 않으나 0.7 knot 이상부터 변위가 발생 했다. 또한 유속이 커질수록 System 2 와 System 3의 변위는 수직방향으 로는 크지 않았다. 유속이 1.6 knot 일 때 System 2와 System 3의 변위차 이는 수직방향에서 약 0.5m, 수평방향에서 6.0m의 차이가 났다. B점에서는 수평방향에서 유속이 커질수록 A점과 동일하게 System 3, System 2, System 1 순으로 변위가 크며, 수직방향에서 0.8 knot 이하일 때는 변위가 발생하지 않지만, 0.9 knot 이상부터 변위가 발생하며, 1.6 knot에서는 System 3의 변위가 가장 크게 발생하였다.



(a)



(c)

Fig.5. Displacement measurement position A : front check point, B: rear check point ((a) System 1, (b) System 2, (c) System 3).



(b)

Fig.6. Displacement measurement position A according to velocities ((a) horizontal displacement, (b) vertical displacement).



(b)

Fig.7. Displacement measurement position B according to velocities ((a) horizontal displacement, (b) vertical displacement).

2. 유속에 따른 저항

본 연구에서는 유속에 따른 각각 시스템의 전체 저항은 Fig. 7에 나타내 었다. 전체 저항값은 가두리 수가 작을수록 줄어든다. 전체 저항값은 바닥 에 고정되어 있는 계류줄의 끝단에 걸리는 저항값의 합이다. 유속에 따라 가장 저항이 큰 시스템은 System 1이며, System 2, System 3 순서이다. 1.6 knot의 유속에서 각 시스템의 저항을 비교하면, System 1을 100%로 보았을 때, System 2의 저항은 69.4%, System 3의 저항은 54.8% 이다.

그러나 유속이 낮을 때에는 System 2와 System 3 사이의 저항 값의 차이는 많이 나지 않았다.



Fig. 8. Total resistance of cage systems for the currents.

3. 파고에 따른 동적거동과 저항

파고에 따른 가두리의 동적거동은 Fig. 9에 보여준다. Fig. 9는 System 1 에서 각각 2m, 4m, 6m의 파고가 적용되었을 때의 형상변화를 나타냈다. 각 파고로 인하여 위아래의 움직임이 잘 나타난다. 파고의 크기가 커질수 록 구조물의 움직임 또한 커진다는 것을 알 수 있다.



Fig.9. Response example of the cage System 1 to waves of height 2m, 4m, 6m and length 250m.

파고에 따른 가두리 변위의 측정 위치는 유속에 따른 변위 측정 위치와 동일한 Fig. 6에 나타내었고, 파고에 따른 위치 A와 B의 최대진폭 측정값 은 Table 3, Table 4에 나타내었다.



Fig.6. Amplitude of cage system 2 according to waves of height 4m.

Table 3. Maximum amplitude of cage systems at position A according to waves of height

Wave height	Maximum	ion A (m)	
(m)	System 1	System 2	System 3
2	2 m	2 m	2 m
4	4 m	4 m	3.85 m
6	5 m	4.7 m	5.3 m

Wave height	Maximum amplitude at position B (m)			
(m)	System 1	System 2	System 3	
2	1.9 m	1.9 m	1.7 m	
4	4 m	4 m	3.9 m	
6	5.8 m	5.6 m	5.3 m	

Table 4. Maximum amplitude of cage systems at position B according to waves of height

파고에 따른 진폭은 파고가 커질수록 상류 측 A점 및 하류 측 B점 모두 커졌다는 것을 알 수 있다. 4m의 파고일 때 system 2에서 상류 측 A점과 하류 측 B점에서의 파고별 진폭은 상류 측 A점의 최대 진폭이 더 큰 것이 나타났다. Table 3 와 Table 4의 값을 비교하였을 시 system 1, system 2, system 3에서 파고별로 최대 진폭은 상류 측 A점에서 측정된 최대 진폭이 B점보다 컸다. Table 5는 각 파고별로 계류줄 끝단 최대 장력 값이 계산된 결과 값을 나타낸다. 저항값의 분석과 비슷하게 파랑 작용에 의한 분석은 파고 높이 6 m에서 가두리 수가 감소함에 따라 저항값이 감소한다는 것을 보여준다. 단 2 m, 4 m 높이의 파고의 경우에는 system 2의 저항은 system 3보다 낮다. 이러한 현상을 정확하게 해석하기 위해서는 여러 종류 의 파랑에 대한 추가 연구가 필요하다. 위의 결과로부터, 시스템을 구성하 는 가두리의 수가 감소함에 따라 파랑에 의해 발생하는 저항이 감소하는 경향을 보였다. 가두리의 수가 줄어들면, 가두리 시스템을 구성하는 요소 들, 즉 그물, 로프, 프레임 면적이 줄어들기 때문으로 생각된다. 그러나 이 실험은 단순한 구조의 직사각형의 틀에 관한 것이어서 이러한 분석은 더 복잡한 구조를 가진 원형 가두리 형태에 대한 분석도 필요하다. 모델 실험

을 실시하여 수치 계산의 정확성을 검증하는 것도 의미가 있다. 또한 유속 감소 비율은 저항 감소 정도에 영향을 미친다. 본 연구에서는 망지의 크기 와 형태, 가두리의 배치방법에 따라 달라지는 9.8%의 감소율을 적용하였 다.

Table 5. Maximum total tension of the mooring line with different cage systems

Wave height	Maximum total tension of the mooring line(kgf)			
(m)	System 1 System 2		System 3	
2	3875 kgf	2561 kgf	3000 kgf	
4	4628 kgf	3039 kgf	3391 kgf	
6	7162 kgf	5634 kgf	3734 kgf	
XIII			5171	

Ⅳ. 결론 및 요약

본 연구는 가두리 총 내부용적을 일정하게 유지하면서 여러개로 구성된 가두리 시스템의 저항이 조류와 파고에 따라 어떻게 변화하는지 수치해석 으로 분석하였다. 분석에 사용된 가두리는 총 내부용적이 8000 m³ 인 직사 각형으로 8개, 4개, 2개의 가두리로 나누었다. 각 가두리를 구성하는 망지 와 로프는 동일한 재료와 크기를 사용하였다. 가두리의 프레임은 강체로 간주하였고, 두께는 모두 같다.

조류와 파고의 작용으로 인한 저항 계산으로부터, 저항은 가두리의 수의 증가에 따라 증가하는 경향이 있었다. 내부 용적이 일정하게 유지되는 가 두리 시스템에서 가두리의 수가 증가함에 따라, 망지 면적과 사용된 로프 의 양이 증가했기 때문으로 판단되었다. 현재 국내에서 사용되고 있는 사 각 가두리는 PE 소재로 10 m × 10 m × 10 m 의 크기로 총 내부용적은 1000 m³ 이다. 이번 해석으로부터 판단하면 이 정도 크기의 가두리는 구성 하는 재료도 많이 필요하고, 저항도 크게 걸리므로 효과적이지 못한 것으 로 보였다. 본 연구에서는 사각형의 가두리로만 연구를 진행하였는데, 원형 을 포함한 다른 형태의 가두리의 연구도 추가적으로 진행하여 같은 내부용 적에서의 다양한 형태의 시스템에 대한 장력 비교에 대한 연구도 필요하다 고 사료된다.

참고문헌

- Aarsnes, JV, Rudi, H and Loland, G (1990). "Current Force on Cage, Net Deflection," *Engineering for Offshore Fish Farming*. Tomas Telford, London, 137 - 152.
- Geir Løland (1993). "Current force on, and water flow through and around, floating fish farms," *Aquaculture International.* 1, 72–89.
- Huang, CC, Tang, HJ and Liu, JY (2006). "Dynamical analysis of net cage structures for marine aquaculture: numerical simulation and model testing," *Aquacult. Eng.* 35, 258 270.
- Huang, CC, Tang, HJ, Liu, and JY (2007). "Modeling volume deformation in gravity-type cages with distributed bottom weights or a rigid tube-sinker," *Aquacult. Eng.* 37, 144 157.
- Kim, HY, Lee, CW, Shin, JK, Kim, HS, Cha, BJ and Lee, GH (2007). "Dynamic simulation of the behavior of purse seine gear and sea-trial verification," *Fish Res.* 88, 109 - 119.
- Lee, HH and Pei, W (2000). "Dynamic behavior of tension-leg platform with net - cage system subjected to wave forces," *Ocean Eng.* 28, 179 - 200.
- Lee, CW, Lee, JH, Cha, BJ, Kim, HY, Lee, and JH (2005a). "Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation," *Ocean Eng.* 32, 331 347.
- Lee, CW, Kim, YB, Lee, GH, Choe, MY, Lee, MK, Koo, and KW (2008a). "Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves," *Ocean Eng.* 35, 1521–1532.
- Lee, JH, Karlsen, L and Lee, and CW (2008b). "A method for improving the dynamic simulation efficiency of underwater flexible structures by implementing non-active points in modelling,". *ICES J. Mar. Sci.* 65, 1552–1558.
- Lee, CW, Lee, JH, Choi, MY, Lee GH (2010). "Design and Simulation Tools for Moored Underwater Flexible Structures," Kor J Fish Aquat Sci 43(2), 159–168.
- Lee, JH, Lee, CW and Karlsen, L (2011). "Sea trials and application of a numerical method for the analysis of the ocean current displacement phenomena of demersal longlines," *Ocean Eng.* 38, 1744–1754.

- Lee, CW, Lee, JH, Park, SB (2015). "Dynamic behavior and deformation analysis of the fish cage system using mass-spring model," *China Ocean Engineering*, 29, 311–324
- Li, Fu , Xu, Wang, and Yang (2013). "Dynamic responses of floating fish cage in waves and current," *Ocean Engineering* 72,297 303.
- Li, YC, Zhao, YP, Gui, FK and Teng, and B (2006). "Numerical simulation of the hydrodynamic behaviour of submerged plane nets in current," *Ocean Eng.* 33, 2352 2368.
- Li, Y, Gui, F and Teng, B (2007). "Hydrodynamic behavior of a straight floating pipe under wave conditions," *Ocean Eng.* 34, 552 559.
- Wakaba, L and Balachandar, S (2007). "On the added mass force at finite Reynolds and acceleration numbers," *Theor. .Comput. Fluid Dyn.* 21, 147–153.
- Zhao, YP, Li, YC, Dong, GH, Gui, FK, Teng, and B (2007). "Numerical simulation of the effects of structure size ratio and mesh type on three-dimensional deformation of the fishing-net gravity cage in current," *Aquacult. Eng.* 36, 285 3.
- Zhao, YP, Bi, CW, Dong, GH, Gui, FK, Yong Cui, Xu, TJ (2013). "Numerical simulation of the flow field inside and around gravity cage,"

21 11

10 11

감사의 글

석사 과정을 무사히 마칠 수 있게 보듬어 주시고 따뜻하게 지도해 주신 이춘우 교수님께 존경과 감사의 인사를 드립니다. 많은 가르침과 격려와 조 언해주신 김형석 교수님께 깊은 감사의 인사를 드립니다. 그리고 학문적으 로, 인성적으로 많은 가르침을 주신 김정창 명예교수님, 강일권 명예교수님, 홍철훈 교수님, 이대재 교수님, 권병국 교수님, 신현옥 교수님, 김형석 교수 님, 이유원 교수님, 임석원 교수님, 이지훈 교수님께도 감사의 인사를 드립 니다.

석사 과정 중 많은 도움을 주시고 조언을 해주신 이명우 선배님, 원성재 선배님, 박수봉 박사님에게도 감사의 마음을 전합니다. 지난 2년 동안 석사 과정을 함께했던 이다윤, 장용석, 김민규, 윤형근, 김지 민, 이준규를 포함한 함께했던 후배들 모두에게 감사의 마음을 전합니다. 끝으로 공부를 할 수 있게 아낌없는 사랑과 지원 베풀어주시는 우리 아버 지, 어머니, 매일 손자를 위해 기도하시는 할머니, 할아버지, 그리고 항상 아껴주시는 큰아버지, 큰어머니, 한나누나, 규진이형, 형수님, 마지막으로 내 동생 최규환에게 감사와 사랑의 마음을 전합니다.