



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

활어 이송용 예인 가두리 시스템 개발



2014년 2월

부경대학교 대학원

수산물리학과

박수봉

이학석사 학위논문

활어 이송용 예인 가두리 시스템 개발

지도교수 이 춘 우

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.



2014년 2월

부경대학교 대학원

수산물리학과

박수봉

박수봉의 이학석사 학위논문을 인준함.

2014년 2월 21일



주 심 공 학 박사 강 일 권



위 원 수 산 학 박사 신 현 욱



위 원 수 산 학 박사 이 춘 우

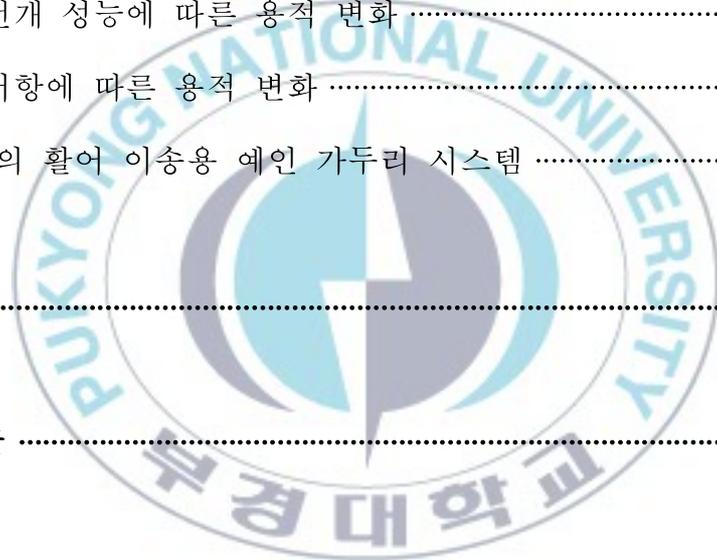


목차

Abstract

서론	1
재료 및 방법	3
1. 활어 이송용 예인 가두리 시스템의 구조	3
2. 가두리 시스템 운동 모델링	6
2.1. 운동 방정식	6
2.2. 내력과 외력	7
2.3. 수치해석	10
3. 시뮬레이션 조건	12
결과 및 고찰	15
1. 예인 가두리 전개 성능	15
1.1. 수직 전개 성능	15
1.1.1. 부력에 따른 수직 전개 성능	15
1.1.2. 침강력에 따른 수직 전개 성능	17

1.2. 수평 전개 성능	18
1.3. 유속 변화에 따른 전개 성능	20
2. 예인 가두리 저항 변화	24
3. 예인 가두리 용적 변화	26
3.1. 가두리 용적 계산 방법	26
3.2. 전개 성능에 따른 용적 변화	27
3.3. 저항에 따른 용적 변화	30
4. 최적의 활어 이송용 예인 가두리 시스템	32
요 약	34
감사의 글	36
참고문헌	37



Development of the towing cage system for transporting the live fish

Su Bong Park

*Department of Fisheries Physics, The Graduate school,
Pukyong National University*

Abstract

Nowadays, consumption of fisheries products is increasing. There are several factors, one of which is a quantitative development through aquaculture. Another factor is an increase qualitative consumption of fish which require that fish be supplied the live. This is required a lot of technical effort to transport the live fish that have low survival rate(*c.f tuna and mackerel*) in coastal waters and the open sea.

In this study, the research for the development of the towing cage system for transporting the live fish was tested in simulation.

The cage system is designed by using a computer tool. The tension and spread performance of the cage system were measured. The simulations were conducted with 30 degrees angle of kite and towing

speeds of 1.0 to 3.0 knots at 0.5 knots intervals.

The results of simulations were as follows:

1. In order to vertical spread, floats attached at the upper part of the cage, and iron chains attached at the lower part of the cage. For horizontal spread, canvas kites attached on the both side of the cage.

2. The tension of the cage was tended to increase with increased towing speeds.

3. The reduction ratio of inside volume of the cage was tend to increase with increased towing speeds.

4. The suitable operation condition in towing cage system was 2 knot towing speeds wih vertical spreading force 885kgf, horizontal spreading force 567kgf; in this case the ratio of the inside volume reduction of the cage was estimated as 25%.

서 론

수산물 생산은 전통적으로 잡는 어업이 대표적이었으나, 현재는 수산자원 감소와 연안국의 자원 자국화 정책 등의 영향으로 생산량이 급격히 감소함으로써, 전 세계적으로 수산물의 공급 부족이 예고되고 있다. FAO에서는 2020년 세계 수산물이 2,300만톤이 부족할 것으로 전망하고 있으며, 이러한 수산식량 위기를 해결할 수 있는 대안으로서 양식업의 중요성이 날로 커지고 있다. 또한, 2015년에는 수산물 생산에서 양식업의 생산 비중이 처음으로 어선어업을 넘어서 수산물 공급에서 차지하는 비중이 더욱 높아질 것으로 예상되고 있다.(The State of World Fisheries and Aquaculture, FAO)

수산물 소비의 증가 배경에는 양식생산을 통한 양적 성장뿐만 아니라 활어 상태로 접하기 어려운 어종에 대한 질적 수요도 함께 증가하면서, 외해 및 연근해에서 어획된 고등어나 참치와 같은 어획 후 생존율이 낮은 어종의 활어 운반을 위한 기술적 요구도 함께 이루어지고 있다. 기본적으로 어획된 어류는 선박의 어창을 이용하여 보관 및 운반이 이루어지지만, 어종에 따라서는 이와 같은 방법은 치사율이 높거나, 대량 어획일 경우 어창용적의 제한으로 어류의 밀도가 높아져 활어 상태의 운반이 사실상 어려운 경우도 있다.

최근 양식 기술의 발전을 통해 고등어의 양식 및 활어 상태로의 출하가 가능해지고, 제주도 및 남해안을 중심으로 활어 고등어의 공급이 이루어짐

으로써 어가 소득 증가에 큰 몫을 차지하고 있다. 정치망에서 어획된 고등어나 참다랑어는 근처에 위치한 양식장으로 바로 옮겨 축양이 가능하지만, 원거리 어장에서 어선어업을 통해 어획된 경우는 대부분 냉동·선어 상태로 유통이 이루어지고 있다. 따라서 수산물 소비 수준의 질적 향상에 부응하고 이를 통한 어가 소득의 향상을 위해, 외해 및 연근해에서 어획된 어종을 활어 상태로 양식장이나 육지로 옮기기 위한 장치 및 구조물의 개발이 필요하다.

현재까지 활어 이송용 예인 가두리 시스템에 관한 연구·개발은 MIT 대학 근해양식공학센터에서 개발한 스스로 운항 능력이 있는 양식용 가두리 연구(Goudey, 2008)가 있다. 호주에서는 일반 가두리 그물을 변형한 형태로 0.5 knot의 속도로 참다랑어를 축양시설로 이송하고 있으며, 일본에서는 이송 중 생존율을 높이면서 이송 속도를 기존의 0.5 knot에서 1.0~1.2 knot로 2배 가까이 향상시킬 수 있는 유선형 어류 운반 가두리가 개발되었다. 그러나 우리나라에서는 참다랑어 이송 시스템 개발에 관한 연구(국립수산과학원, 2010) 외에는 이송장치에 관한 연구가 거의 없다.

본 논문에서는 외해 및 연근해에서 어획된 회유성 어종인 고등어나 참치 등과 같은 어류를 활어 상태로 양식장 혹은 육지까지 안전하게 이송할 수 있는 시스템을 개발함에 있어, 이송 속도를 향상시킬 수 있는 활어 이송용 가두리 시스템을 설계하고, 시뮬레이션을 통하여 구조물의 역학적 거동과 성능을 분석하고자 한다.

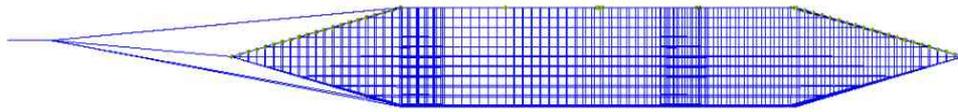
재료 및 방법

1. 활어 이송용 예인 가두리 시스템의 구조

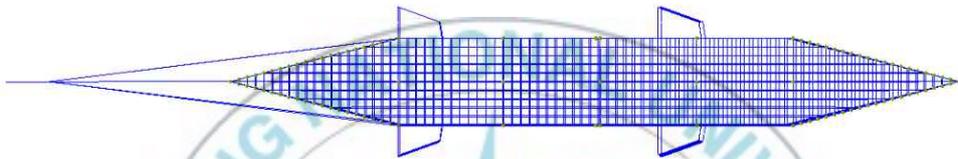
활어 이송용 예인 가두리 시스템은 예인 시 발생하는 저항에 따른 유류 소모량 증가 및 가두리 형상 변화로 인한 어류의 사망 등 어업손실을 최소화 할 수 있도록 설계하여야 한다.

본 논문에서 설계하고자 하는 활어 이송용 가두리는 Fig. 1과 같이 형상을 유지하기 위한 강제구조물을 포함하지 않는 직육면체의 망지에, 위에는 뜸, 밑에는 침자를 매달아 수직 전개를 시키고, 좌우에 카이트를 달아서 카이트에서 발생하는 양력으로 수평 전개를 하는 시스템이다. 가두리의 크기는 가로 27m, 세로 6m, 높이 6m의 직육면체이고, 가두리 앞뒤로 빨 형태의 그물을 부착하였다. 그물은 한 발의 길이가 12cm, 직경 10mm의 나일론 사각망지이다. 가두리의 수직 전개를 위해 상단에는 원형 뜸을 부착하였고, 하단에는 침자의 역할을 하는 체인을 모서리에 부착하였다(Fig. 2).

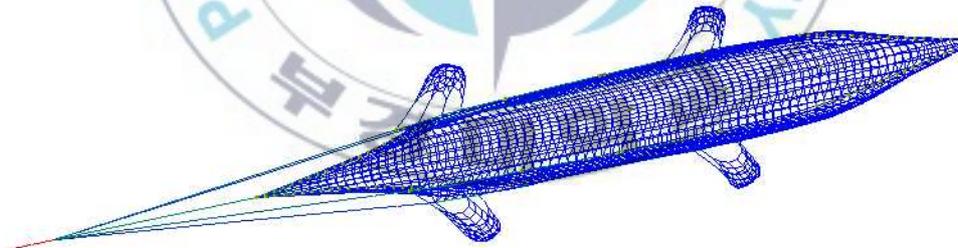
가두리의 수평 전개를 위해서 앞쪽과 2/3 지점의 좌우에는 카이트를 부착하였다. 이는 트롤어업에서 사용하는 전개판과 같이 양력을 발생시켜 예인 시 가두리가 오므라드는 것을 방지해주는 역할을 한다. 카이트의 크기는 가로 3m, 세로 6m이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. The shapes of the towing cage.

(a) Side view (b) Top view (c) 3D view

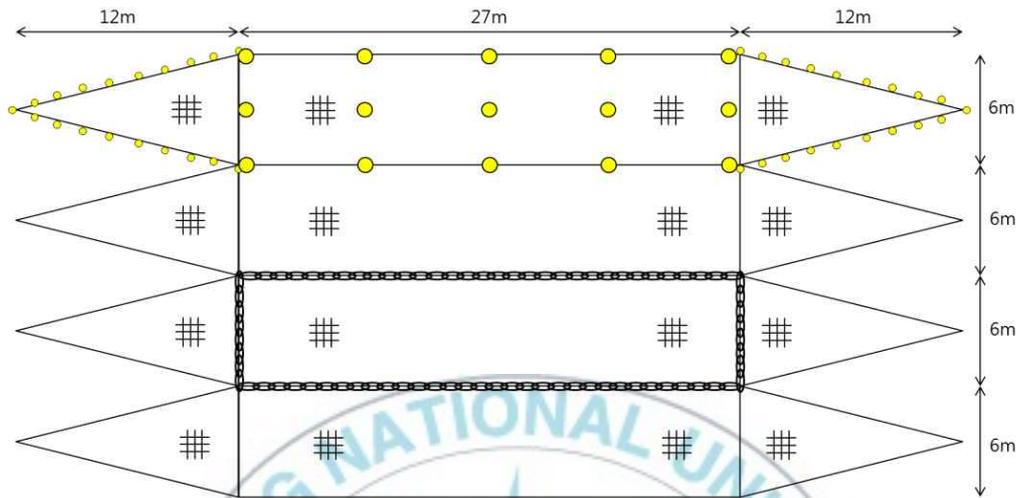


Fig. 2. Schematic drawing of a towing cage.

2. 가두리 시스템 운동 모델링

2.1 운동 방정식

예인 가두리 시스템은 망지와 예인 로프에 뜸, 침자 등의 속구가 부착된 구조이고, 외력에 의해 쉽게 형태가 변하는 유연체이다. 본 논문에서는 이 유연구조물을 유한개의 질점으로 나누고, 이들 질점들이 탄성이 있는 줄로 연결되어 있는 물리 시스템으로 간주하였다.

망지의 경우 그물코를 질점과 이들 질점을 연결하는 스프링으로 간주하고, 이 그물코와 그물코에 부착된 뜸이나 침자가 가지는 항력, 양력, 침강력, 부력 등의 모든 외력은 질점에만 집중되어 작용하며, 이들 질점을 연결하는 스프링에는 외력이 전혀 작용하지 않고 단지 질점내의 탄성력에 의한 내력만 작용하는 것으로 가정하였다. 또한, 수십 개의 그물코를 하나의 그물코로 근사하여 질점의 수를 축소하여 수치계산 시간을 단축하였으며, 근사된 질점은 근사되어 사라진 질점의 역학적 속성을 포함하고 있다(Fig. 3).

각 질점 운동 방정식의 기본형은 뉴턴의 제 2법칙으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m\ddot{\mathbf{q}} = \sum \mathbf{f} \quad (1)$$

여기서, m 은 질량, $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 가속도 벡터, \mathbf{f} 는 힘 벡터로 내력과 외력으로 구성된다.

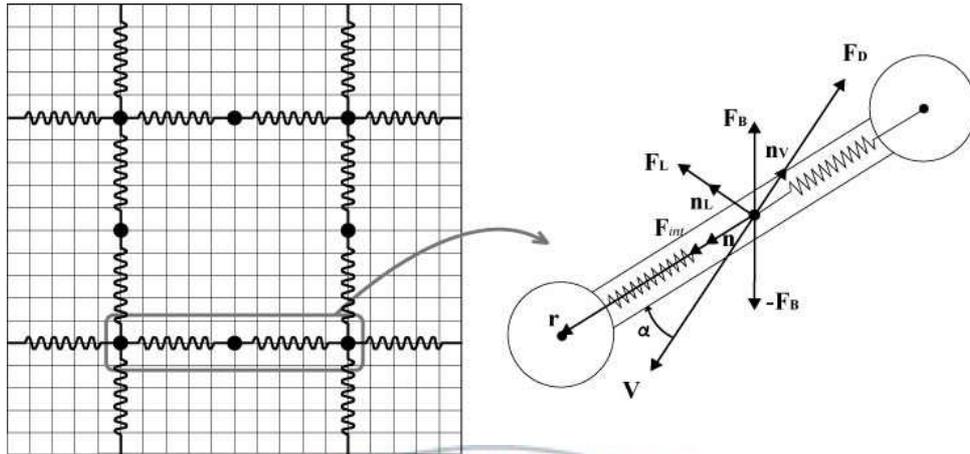


Fig. 3. Modeling a netting with small meshes.

2.2. 내력과 외력

내력은 각 질점 사이에 작용하는 힘을 지칭하는 것으로, 근사된 질점인 어구의 각 부속구 및 로프, 그물발에 작용하는 힘이다. 이때, 로프와 그물 실은 질량이 없는 스프링으로 보고, 그물에 작용하는 힘은 변형량에 비례하는 것으로 간주한다. 각 질점에 작용하는 내력은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_{\text{int}} = -\mathbf{n} \frac{EA}{l^0} (|\mathbf{r}| - l^0) \quad (2)$$

여기서, \mathbf{n} 은 스프링의 단위벡터이고, E 는 재료의 유효 영율, A 는 재료의

유효단면적, l^0 는 스프링의 원래 길이, $|\mathbf{r}|$ 은 스프링의 위치벡터 크기를 나타낸다. 단위벡터 \mathbf{n} 은 위치벡터 \mathbf{r} 을 위치벡터의 크기 $|\mathbf{r}|$ 로 나눈 것이다.

외력은 외부로부터 각 질점에 작용되는 힘을 지칭하는 것으로, 어구에 작용하는 힘은 부력, 침강력, 항력 및 양력이다. 유체력의 방향과 크기는 망지가 흐름에 대해 받는 영각에 따라 달라지며, 이러한 요소들은 3차원 공간에서 흐름의 여부에 따라 달라진다. 흐름이 없는 경우는 질점에서의 속도벡터와 위치벡터가 이루는 각에 따라 항력계수 및 양력계수가 결정되고, 흐름이 있는 경우는 흐름에 의한 속도벡터의 합력속도 벡터와 질점에 작용하는 위치벡터가 합해져서 계수들이 결정된다.

본 논문에서는 유속의 영향만을 고려하였기 때문에 합력속도 벡터는 다음과 같다.

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_m - \mathbf{V}_c \quad (3)$$

여기서, \mathbf{V}_m 은 질점의 운동속도벡터, \mathbf{V}_c 는 유속의 속도벡터이다. 그리고 모든 흐름의 합력 속도벡터 \mathbf{V} 에 대해 항력은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_D = -\frac{1}{2}C_D\rho S\mathbf{V}|\mathbf{V}| \quad (4)$$

여기서, C_D 는 항력계수, ρ 는 유체의 밀도($kgw.s^2/m^4$), S 는 질점의 면적

(m^2)을 나타낸다.

속도벡터 \mathbf{V} 와 위치벡터 \mathbf{r} 사이의 각 α 는 항력계수 결정에 필요하며, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{r}}{|\mathbf{V}| |\mathbf{r}|} \right] \quad (5)$$

양력은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_L = \frac{1}{2} C_L \rho S V^2 \mathbf{n}_L \quad (6)$$

여기서, C_L 은 양력 계수이다. 이것은 위의 식에서 결정된 각에 의해 계산되며, ρ 와 S 는 항력과 같이 유체의 밀도, 질점의 면적이며, V 는 속도 (m/s)이다.

부력과 침강력인 \mathbf{F}_B 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_B = (\rho_i - \rho_w) V_n \mathbf{g} \quad (7)$$

여기서, ρ_i 는 재료의 밀도, ρ_w 는 해수의 밀도, V_n 은 재료의 부피, \mathbf{g} 는 중

력가속도이다.

예인 가두리 시스템을 구성하는 요소 중 망지와 로프를 제외한 뜬, 체인 들은 그 모양이 변하지 않는 강체이므로 작용하는 항력계수 및 양력계수, 수중무게 등 물리적 파라메타는 변하지 않는 상수로 볼 수 있다. 그러나 망지와 로프는 뜬, 체인과 달리 형상이 정해져 있지 않고 외력에 의해 모양이 쉽게 바뀌게 되므로 예인 시 작용하는 힘에 의해 그 형상이 변하게 되며, 그에 따라 항력과 양력도 달라진다.

2.3. 수치해석

활어 이송용 가두리 시스템은 수중 유연 구조물로 이러한 구조물의 운동 방정식은 식(1)에 내력과 외력을 대입하여 다음과 같이 시간 t 에 대한 2차 비선형 상미분 방정식의 형태로 표현된다.

$$m\ddot{\mathbf{q}}(t) + c\dot{\mathbf{q}}(t)^2 + k\mathbf{q}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (8)$$

여기서, $\mathbf{q}(t)$ 는 시간의 변화에 따른 질점의 위치, $\dot{\mathbf{q}}(t)$ 는 속도, $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ 는 가속도를 나타내며, m 은 질점의 질량, c 는 감쇠계수(저항계수), k 는 스프링의 탄성계수, $\mathbf{F}(t)$ 는 항력을 제외한 외력이다.

비선형 운동 방정식은 초기값(initial value)으로 풀이가 가능하며, 그 방법으로는 크게 양해법(explicit method)과 음해법(implicit method)이 있다.

양해법 중 가장 보편적으로 사용되는 방법으로 룬지-쿠타(Runge-Kutta)법이 있으며, 음해법에는 후향 오일러법(backward Euler method)과 뉴마크-베타(Newmark- β)법 등이 있다.

본 논문에서는 가두리 시스템의 운동 방정식을 긴 시간 간격에서도 비교적 안정적인 계산이 가능한 룬지-쿠타법을 사용하여 활어 이송용 예인 가두리의 운동을 해석하였다.



3. 시뮬레이션 조건

활어 이송용 예인 가두리 시스템은 Fig. 4와 같이 어구 설계프로그램을 사용하여 설계하였다. 가두리 그물은 총 2,831개의 질점으로 구성되어 있으며, 뜰과 체인이 부착된 곳의 질점에는 각각의 부력과 침강력을 입력하여 가두리의 수직 전개력을 주었다. 부력에 따른 수직 전개 성능을 비교하기 위해 침강력이 246kgf일 때, 부력을 504kgf(침강력의 2배), 639kgf(침강력의 2.6배), 714kgf(침강력의 2.9배)로 증가시켰고, 침강력에 따른 수직 전개 성능을 비교하기 위해 부력이 639kgf일 때, 침강력을 210kgf(부력의 1/3), 246kgf(부력의 2/5), 320kgf(부력의 1/2)로 증가시켰다.

가두리 양쪽에 2개씩 부착한 카이트는 각각 66개의 질점으로 구성되어있다. 카이트의 각각의 질점들은 항력계수, 양력계수, 질점 하나당 면적 값의 속성을 지니고 있으며(Fig. 5), 카이트 각도 30°일 때, 가두리 양쪽에 부착한 두 개의 카이트 양력을 189kgf, 567kgf, 945kgf, 1512kgf로 증가시켜 가두리 수평 전개 성능을 비교하였다.

설계한 가두리는 형상 변화와 저항을 측정하기 위하여 Fig. 6과 같이 예인줄을 부착하고, 각각의 예인줄을 하나로 모았으며, 예인줄은 예인 시 가두리 시스템의 안정성을 높이기 위하여 수심 2m에 위치하도록 한 뒤 저항을 측정하였다.

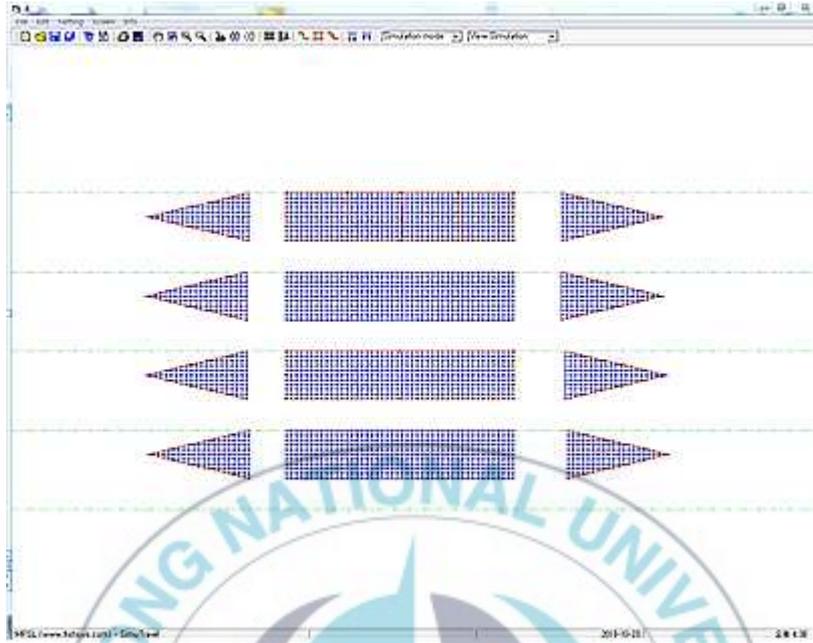


Fig. 4. Drawing of the towing cage using a computer tool.

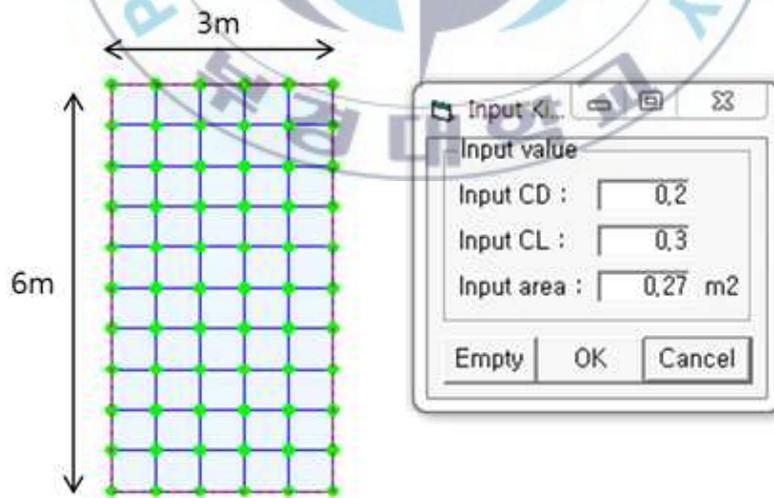


Fig. 5. Drawing of the kite.

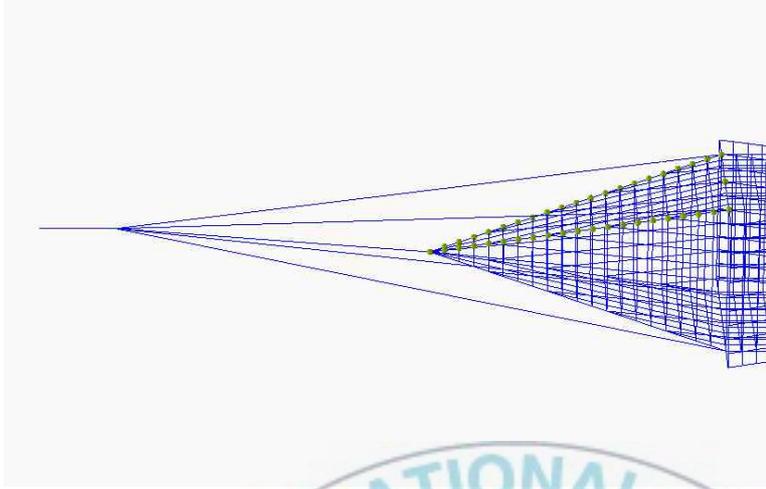


Fig. 6. The shapes of towing rope.

본 시뮬레이션에서 유속이 주어지면 실제 해상에서 가두리를 선박이 예인하는 상황이 만들어지며, 유속을 변화시킴으로써 예인 시 선속 변화와 동일한 효과를 나타낼 수 있다. 따라서 유속을 1.0~3.0 knot 범위에서 0.5 knot 씩 총 5단계로 변화를 주었다. 카이트 각도와 유속에 따른 활어 이송용 예인 가두리 시스템의 형상 변화와 예인줄의 장력 변화를 비교하기 위해 상기의 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 3차원 그래픽 프로그램으로 그 결과를 가시화 하였으며, 계산 시간 간격은 0.0001초였다.

결과 및 고찰

1. 예인 가두리 전개 성능

활어 이송용 예인 가두리는 일정한 예인 속도에서도 가두리 내부 용적이 적절히 유지되어 이송하는 어류의 생존에 영향을 주지 않아야 한다. 그러나 본 논문에서 설계한 직육면체 가두리는 예인 시 오므라들게 되어 있으므로 수직 전개를 위해서 가두리 위쪽에는 뜬을 부착하고 아래쪽에는 침자 역할을 하는 체인을 부착하였다. 또한, 수평 전개를 위해서 가두리 좌우에 2개씩 카이트를 부착하여 카이트에서 발생하는 양력으로 내부 용적을 유지하고자 하는 원리이다.

1.1 수직 전개 성능

1.1.1 부력에 따른 수직 전개 성능

유속 2.0 knot일 때, 부력에 따른 가두리의 측면형상을 Fig. 7에 나타내었다.

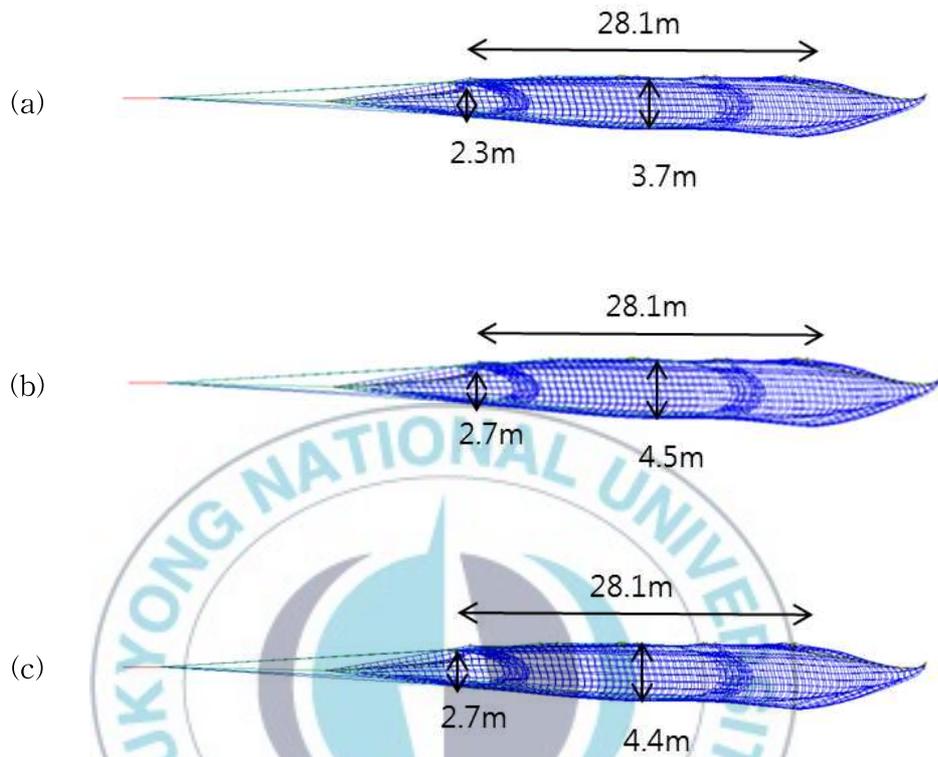


Fig. 7. Deformation of the side shapes of the towing cage with changing buoyancy(2.0 knot, sinking force 246kgf).

(a) Buoyancy 504kgf (b) Buoyancy 639kgf (c) Buoyancy 714kgf

부력에 따른 가두리의 수직 전개 성능을 비교해 본 결과, 부력의 크기에 따라 가두리 앞쪽이 가라앉는 정도가 달랐으며, 부력이 침강력의 2배인 경우보다 2.6배인 경우 가두리 수직 전개 성능이 더 우수하였으며, 2.6배인 경우와 2.9배인 경우에는 큰 차이를 나타내지 않았다.

1.1.2 침강력에 따른 수직 전개 성능

유속 2.0 knot일 때, 침강력에 따른 가두리 측면형상을 Fig. 8에 나타내었다.

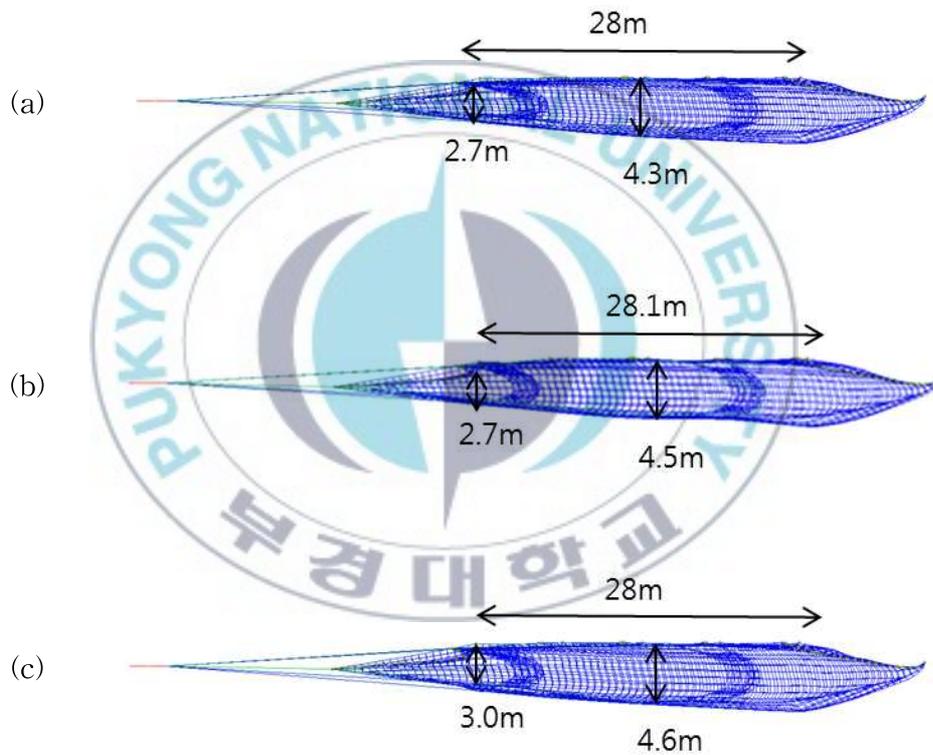


Fig. 8. Deformation of the side shapes of the towing cage with changing sinking force(2.0 knot, buoyancy 639kgf).

(a) Sinking force 210kgf (b) Sinking force 246kgf (a) Sinking force 320kgf

침강력에 따른 가두리 수직 전개 성능을 비교해 본 결과, 침강력에 따라 가두리 앞쪽 부분이 뜨는 정도가 다르게 나타났으며, 침강력을 부력의 1/3에서 2/5로 증가시켰을 경우에는 큰 차이가 없었으나, 1/2로 증가시켰을 경우에는 수직 전개가 더 커졌다.

1.2 수평 전개 성능

유속 2.0 knot일 때, 부력과 침강력이 각각 639kgf, 246kgf인 경우, 카이트 양력에 따른 가두리의 상면형상을 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9를 통해 카이트에서 발생하는 양력의 크기에 따른 카이트 형상의 변화와 양력의 발생 정도를 확인할 수 있다. 카이트에서 발생하는 양력의 크기가 작은 경우에는 수평 전개 성능이 떨어졌고, 카이트가 가두리에 붙었다. 하지만 카이트에서 발생하는 양력의 크기가 567kgf 이상일 경우에는 수평 전개 성능이 양호하였고, 양력이 증가함에 따라 전개 성능도 좋아졌다.

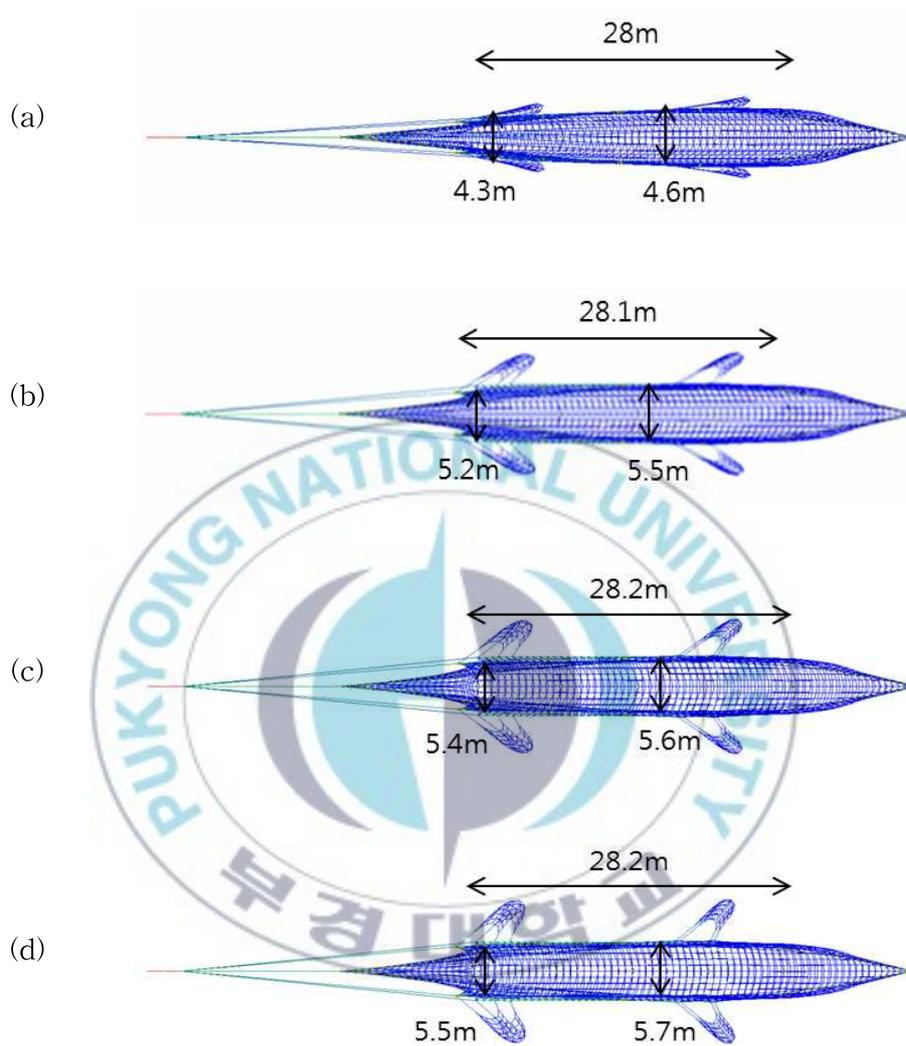
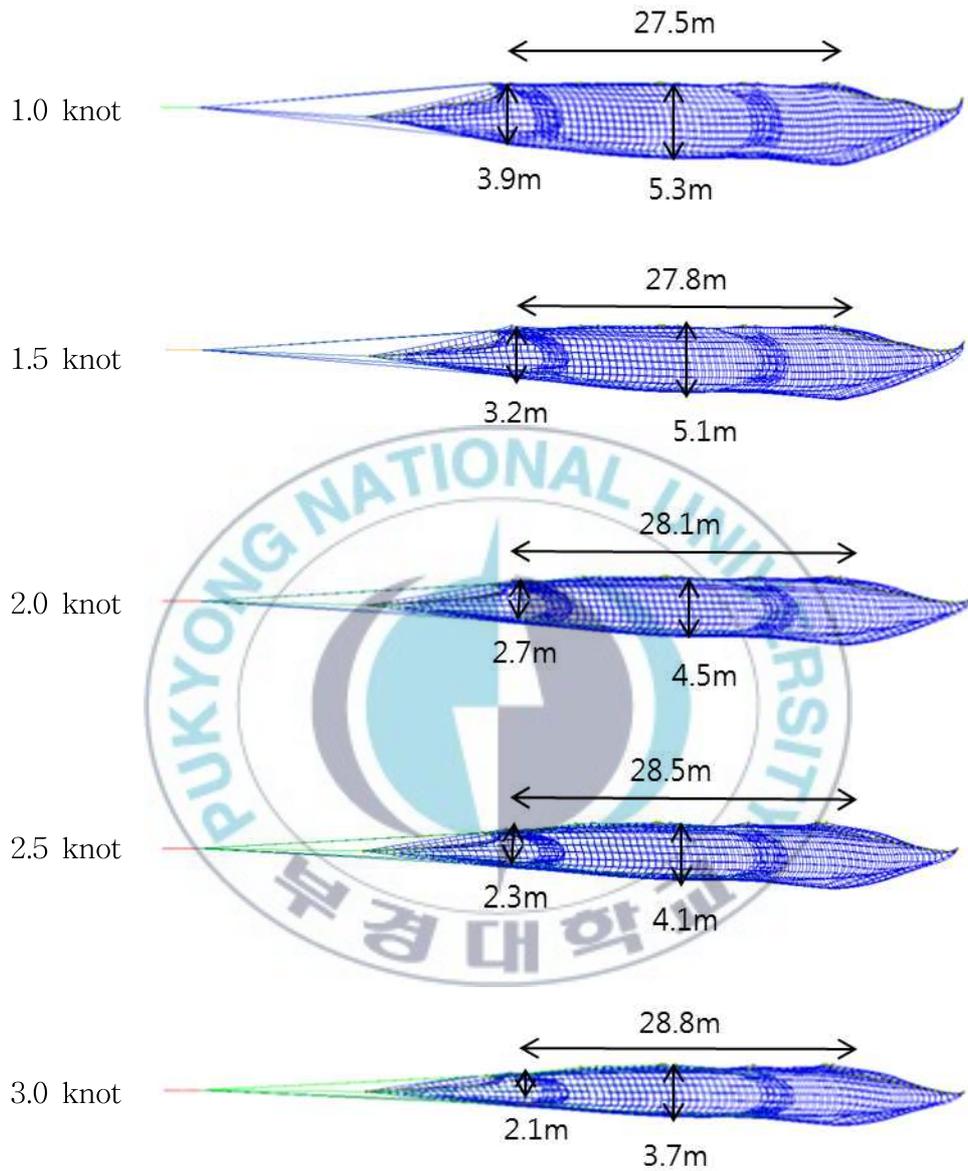


Fig. 9. Deformation of the top shapes of the towing cage with changing lift forces of the kite(2.0 knot, bouyancy 639kgf, sinking force 246kgf).
 (a) 189kgf (b) 567kgf (c) 945kgf (d) 1512kgf

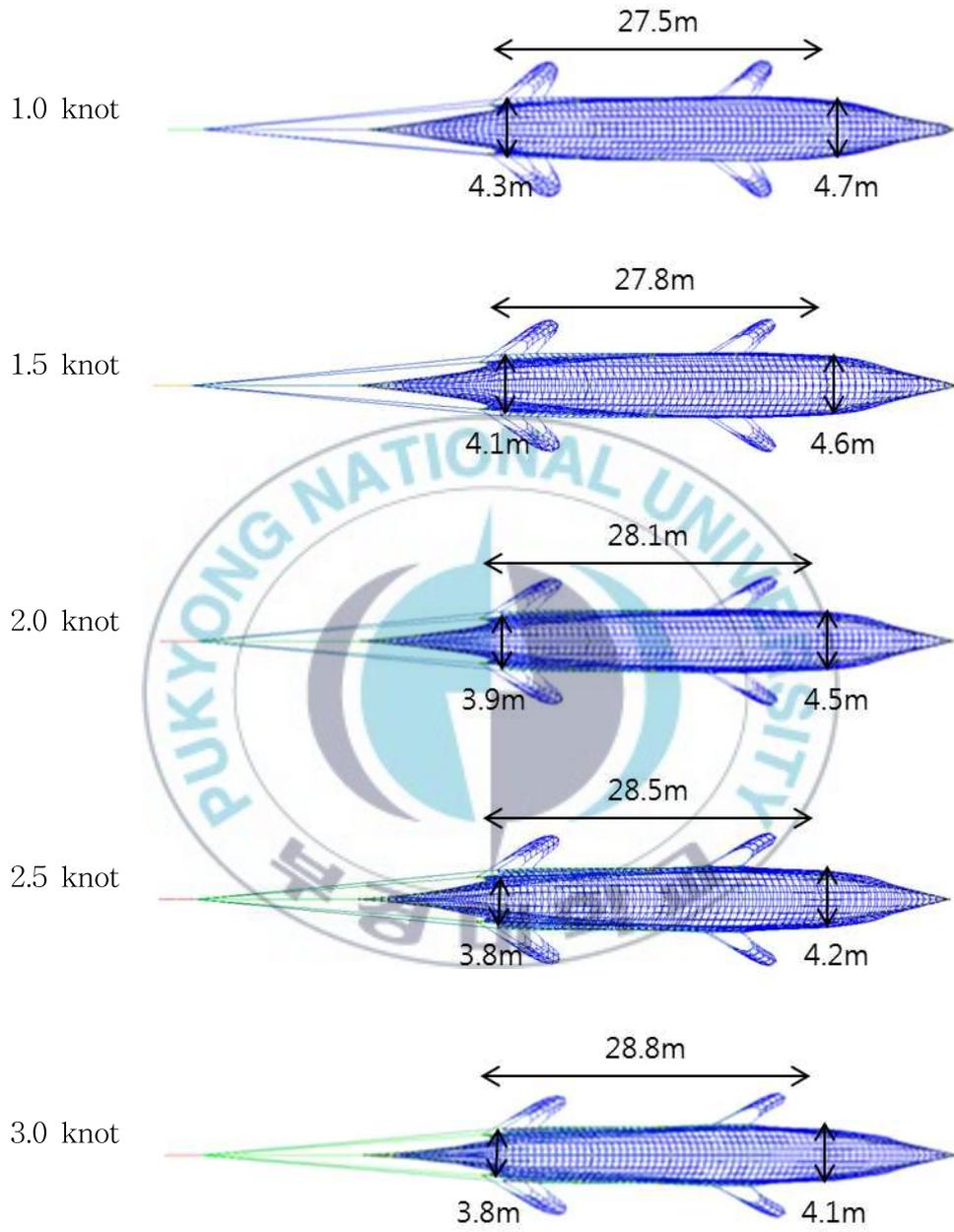
1.3 유속 변화에 따른 전개 성능

Fig. 10에는 부력과 침강력이 각각 639kgf, 246kgf, 카이트 양력 567kgf 인 경우, 유속 변화에 따른 활어 이송용 예인 가두리의 형상 변화를 나타내었다.

유속에 따른 측면 형상(side view)의 변화를 살펴보면, 1.0~3.0 knot로 유속이 빨라짐에 따라 가두리가 뜨면서 수직 전개가 축소되는 현상을 확인할 수 있었다. 가두리가 뜨는 현상은 가두리 앞쪽 부분이 중앙부보다 더 많이 뜨는 것을 확인할 수 있었는데, 이로 인해 가두리 높이가 앞쪽 부분은 3.9m에서 2.1m로, 중앙부는 5.3m에서 3.7m로 감소하였다. 유속이 빨라질수록 가두리의 수직 전개를 살펴보면, 3.0 knot에서는 1.0 knot일 때보다 가두리 입구 높이가 46%정도 감소되었다. 이때, 상면 형상(top view)을 보면 카이트에서 발생하는 양력에 의해 가두리의 형상이 계속해서 유지하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 유속이 빨라짐에 따라 가두리의 수평 전개 정도가 점점 감소하였으며, 3.0 knot에서는 1.0 knot일 때보다 가두리 수평 전개 정도가 12% 정도 감소되었다. 가두리 정면에서의 형상(front view)을 통해 양력의 발생으로 인한 가두리의 수직, 수평 전개 정도와 가두리 앞쪽이 뜨는 현상을 확인할 수 있었다. 유속이 빨라짐에 따라 더 큰 카이트 양력이 발생되어 카이트의 전개력이 더 커졌으나, 가두리가 수평으로 전개되는 정도는 점점 감소하였다.



(a)



(b)

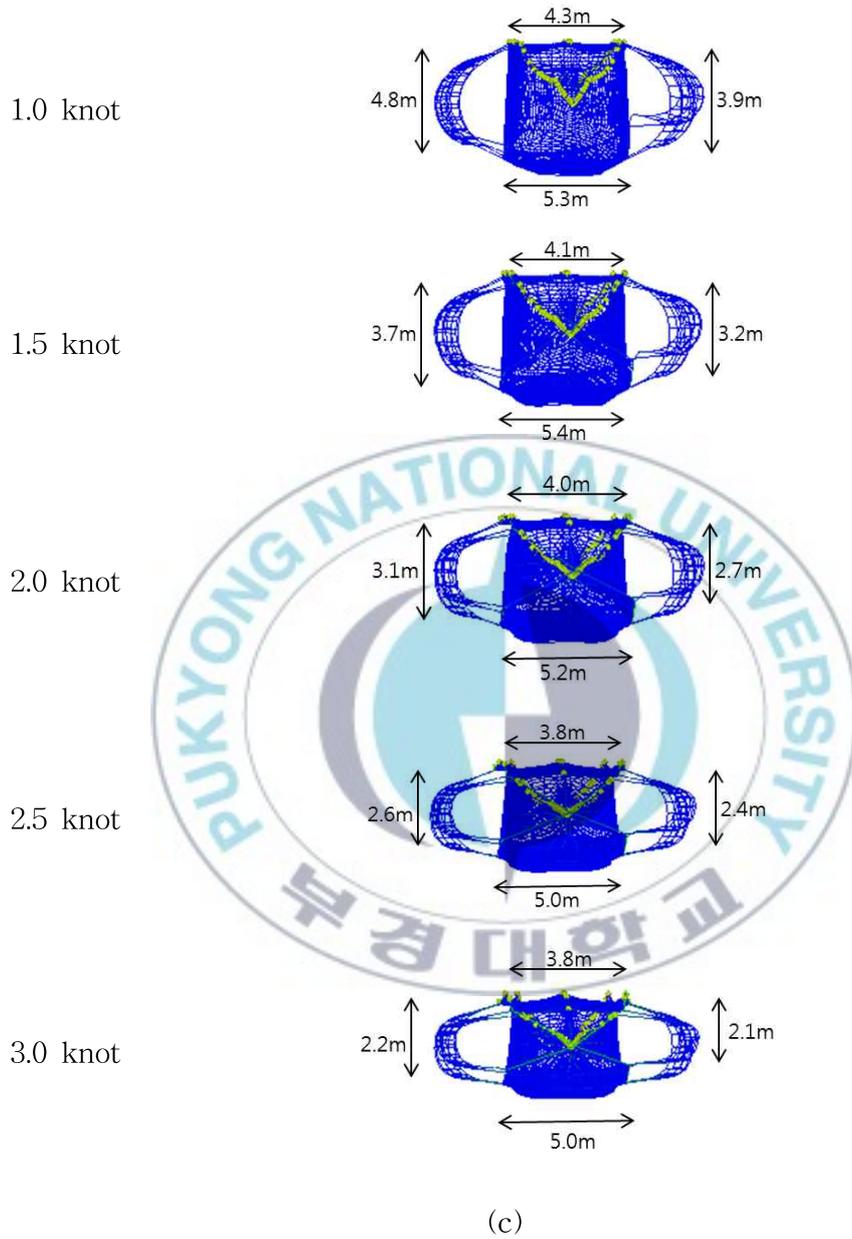


Fig. 10. Deformation of the towing cage with changing velocity.

(buoyancy 639kgf, sinking force 246kgf, lift force of the kite 567kgf)

(a) Side view (b) Top view (c) Front view

2. 예인 가두리 저항 변화

유속에 따라 Fig. 11에 표시된 측정 부위 A점에서 예인줄에 발생하는 저항을 측정하였다.

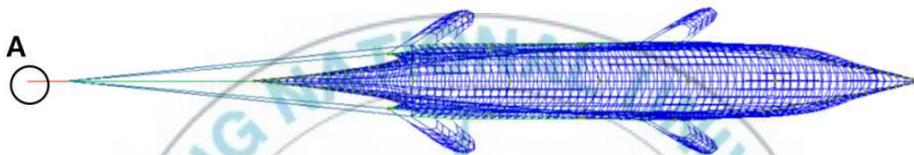


Fig. 11. Measurement position of tension in the simulation.

수직, 수평 전개 성능에 따라 예인 시 발생하는 가두리 저항값 변화 경향을 각각 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다.

수직 전개 성능에 관계없이 예인 속도가 빨라질수록 저항도 증가하는 것을 볼 수 있으며, 부력과 침강력이 커질수록 가두리에서 발생하는 저항도 증가하였다. 또한, 부력의 크기보다 침강력이 커질수록 발생하는 저항도 더 큼을 알 수 있었다. 수평 전개 성능에 따라 발생하는 저항 역시 예인 속도가 빨라질수록 증가하였으며, 카이트에서 발생하는 양력이 크기가 클수록 발생하는 저항은 더 컸다.

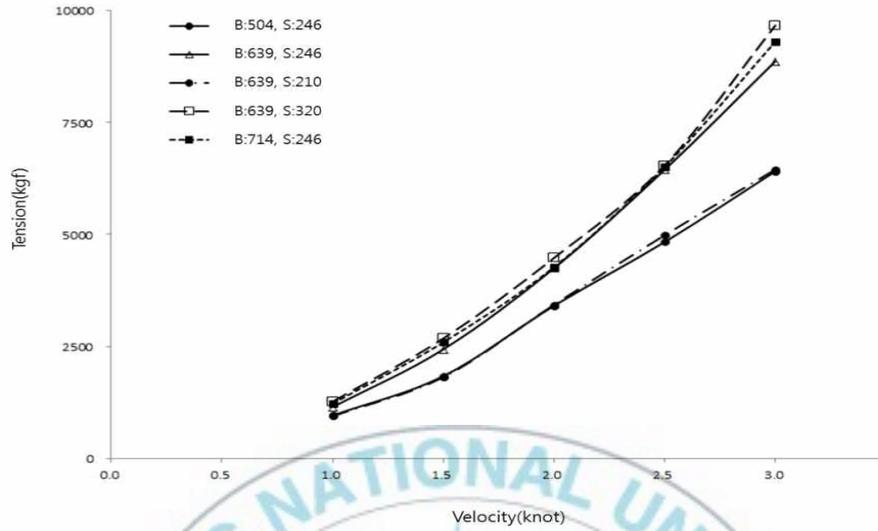


Fig. 12. Comparison of tension of towing rope with changing buoyancy, sinking force, velocity.

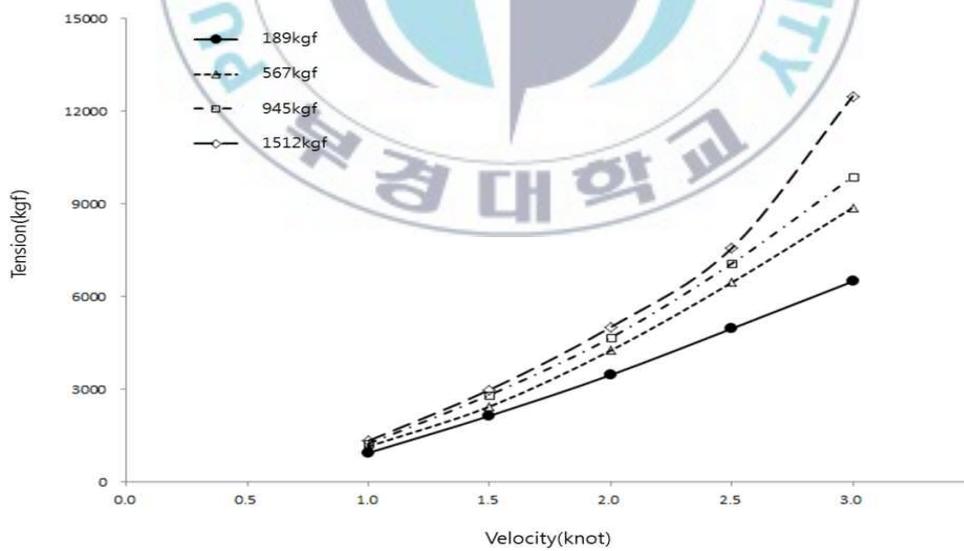


Fig. 13. Comparison of tension of towing rope with changing lift force of the kite, velocity.

3. 예인 가두리 용적 변화

3.1 가두리 용적 계산 방법

카이트 각도, 유속에 따른 가두리 용적 변화를 측정하기 위하여 Fig. 14와 같이 가두리를 36개의 직육면체로 분할하고, 분할된 직육면체의 용적은 식 (9)와 같이 스칼라 삼중적(Scalar Triple Product)을 사용하여 구하였다. 이 분할된 직육면체의 각각의 용적을 합하여 가두리 전체의 용적(S)을 구하였으며, 가두리 용적 감소율은 유속이 0 knot일 때의 용적을 100%로 하여 계산하였다.

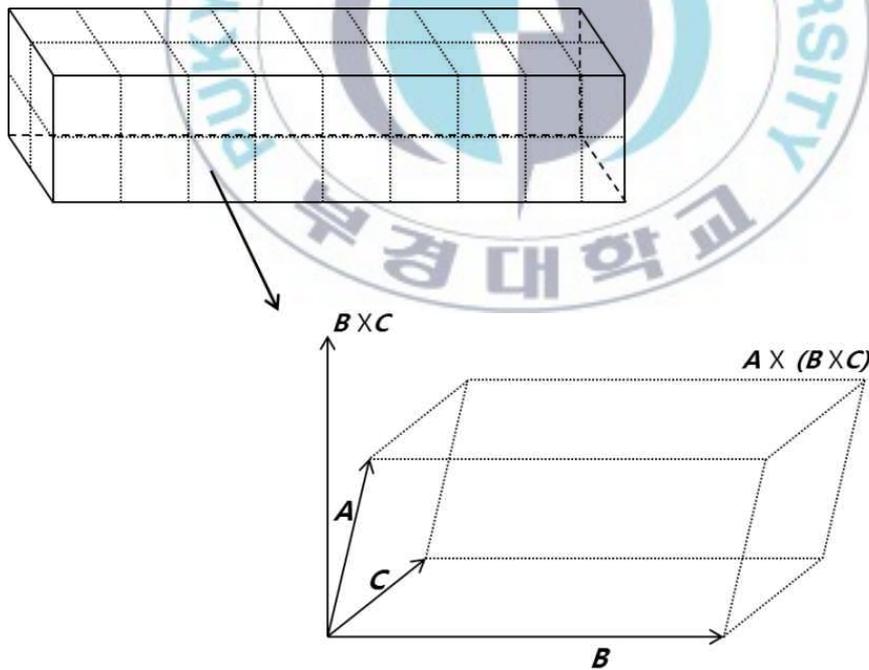


Fig. 14. Geometric partition for the calculation of inside volume of the cage.

$$A = A_x i + A_y j + A_z k$$

$$B \times C = (B_y C_z - B_z C_y) i + (B_z C_x - B_x C_z) j + (B_x C_y - B_y C_x) k$$

$$A \cdot (B \times C) = A_x (B_y C_z - B_z C_y) + A_y (B_z C_x - B_x C_z) + A_z (B_x C_y - B_y C_x) \quad (9)$$

$$A \cdot (B \times C) = B \cdot (C \times A) = C \cdot (A \times B)$$

$$S = \sum_{i=1}^{36} (A_i \cdot (B_i \times C_i)) \quad (10)$$

3.2 전개 성능에 따른 용적 변화

Table 1에는 유속이 2.0 knot, 카이트 양력 567kgf일 때, 수직 전개력에 따른 가두리 용적과 용적 감소율을 나타내었다. 여기서 수직 전개력은 부력과 침강력을 합한 값이다. Table 2에는 부력과 침강력이 각각 639kgf, 246kgf인 경우, 수평 방향에 작용하는 양력의 합을 수평 전개력으로 하고, 이 전개력에 대한 용적 감소율을 나타내었다.

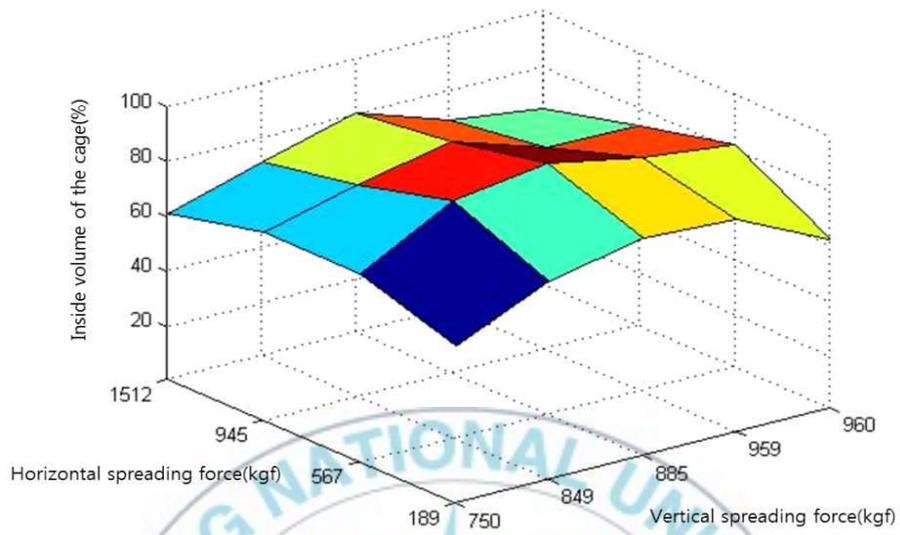
Fig. 15는 수직 전개력과 수평 전개력에 대한 용적 감소율을 MATLAB 프로그램을 이용하여 3차원 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 15의 3차원 그래프들은 예인 속도 1.0, 2.0, 3.0 knot에 있어서 가두리 내부 용적율이 수직 전개력과 수평 전개력의 적절한 비율로 조합 될 때 최대가 됨을 나타낸다.

Table 1. Variation of inside volume of the cage with changing
vertical spreading force(2.0 knot, horizontal spreading force 567kgf)

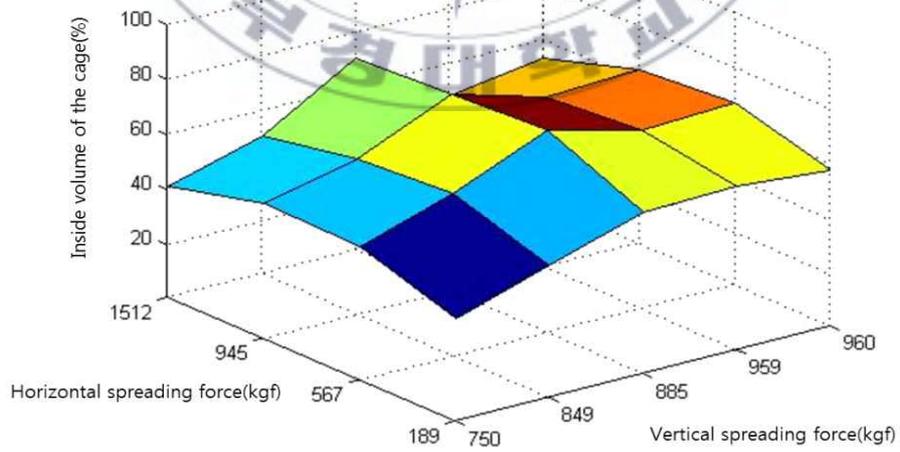
Vertical spreading force (kgf)	Inside volume (m ³)	Inside volume reduction ratio (%)
750	498	39.7
849	484	41.4
885	617	25.3
959	519	37.2
960	617	25.4

Table 2. Variation of inside volume of the cage with changing
horizontal spreading force(2.0 knot, vertical spreading force 885kgf)

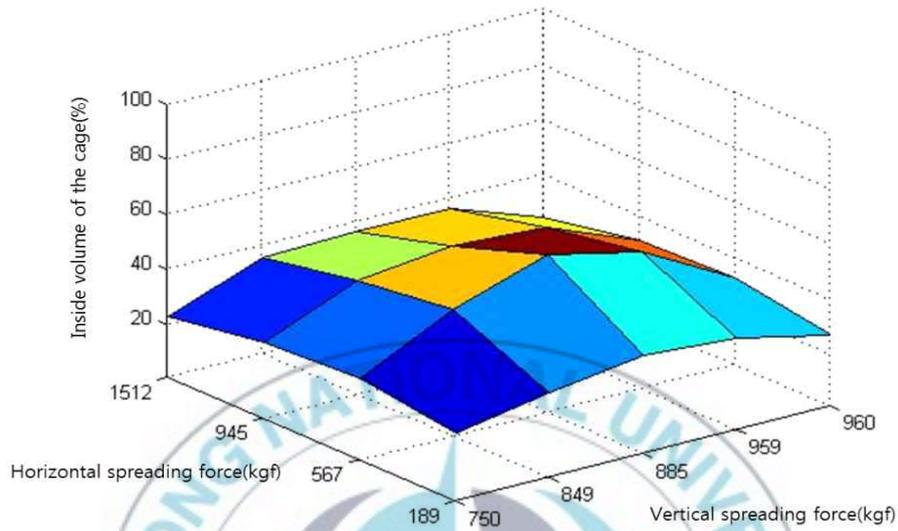
Horizontal spreading force (kgff)	Inside volume (m ³)	Inside volume reduction ratio (%)
189	495	40.1
567	617	25.3
945	613	25.8
1512	584	29.4



(a)



(b)



(c)

Fig. 15. Change of inside volume of the cage with changing vertical spreading force and horizontal spreading force.

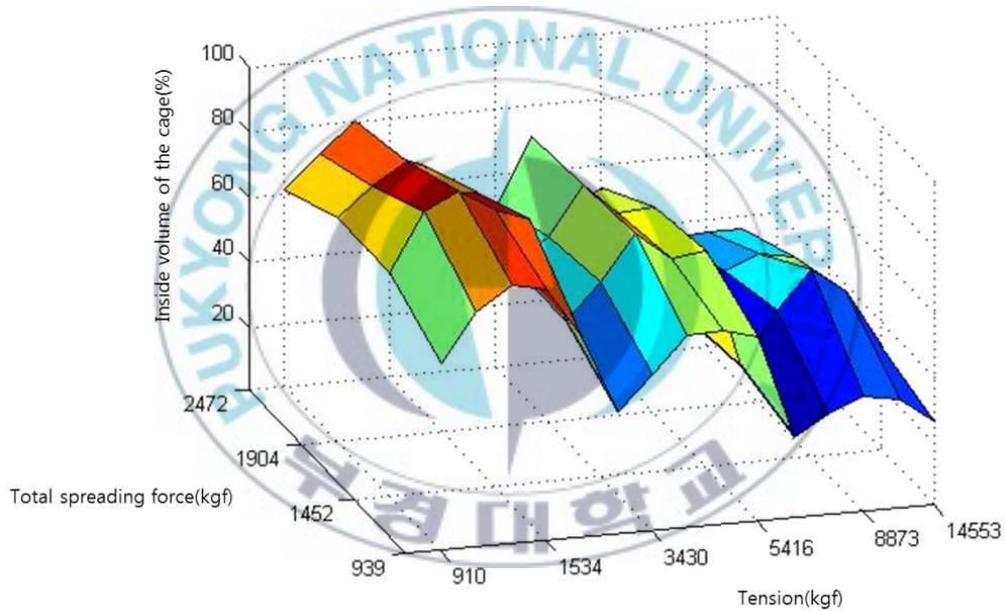
(a) 1.0 knot (b) 2.0 knot (c) 3.0 knot

3.3 저항에 따른 용적 변화

Fig. 16은 수직 전개력과 수평 전개력을 합한 총 전개력과 저항에 대한 용적 비율을 MATLAB 프로그램을 이용하여 3차원 그래프로 나타낸 것이다.

내부 용적 비율은 총 전개력이 커질수록 증가하였고, 저항이 증가될수록

작아졌다. 용적 감소율을 분석한 결과, 총 전개력이 1452kgf이고, 유속 1.0 knot, 저항 1144kgf인 경우, 용적 감소율이 7.7%, 유속 2.0 knot, 저항 4246kgf인 경우, 용적 감소율은 25.3%, 유속 3.0 knot, 저항 8873kgf인 경우, 용적 감소율은 41.5%로 나타났다.



(c)

Fig. 16. Change of inside volume of the cage with changing total spreading force and tension.

4. 최적의 활어 이송용 예인 가두리 시스템

수직 전개력, 수평 전개력, 예인줄의 저항, 가두리 용적 감소율, 유속의 변화를 통해 최적의 활어 이송용 예인 가두리 시스템을 도출해보았다.

활어 이송용 예인 가두리 시스템은 예인 시 가두리 앞쪽 부분 위쪽은 가라앉고, 아래쪽은 뜨는 현상이 나타났다. 가두리 앞쪽 부분 위쪽이 가라앉는 것을 최소화하기 위해 부력의 변화를 주었고, 아래쪽이 가라앉는 것을 최소화하기 위해 침강력의 변화를 주어 수직 전개력을 발생시켰다. 예인 속도 2.0 knot에서 부력의 변화를 통해 수직 전개력이 750kgf인 경우 가두리 용적 감소율은 약 40%, 885kgf, 960kgf인 경우 용적 감소율은 약 25%로 수직 전개력이 885kgf 이상인 경우에는 가두리 용적 감소율에서 큰 차이를 보이지 않았으나 저항은 수직 전개력이 커질수록 증가하였다. 예인 속도 2.0 knot에서 침강력의 변화를 통해 수직 전개력이 849kgf인 경우 가두리 용적 감소율은 약 41%, 885kgf, 959kgf인 경우 용적 감소율은 각각 25%, 37%를 나타내었다. 수직 전개력이 클수록 가두리 시스템이 뜨는 현상이 작아지는 것을 확인할 수 있었으나, 수직 전개력이 너무 큰 경우에는 오히려 가두리의 수직 전개력이 커지고 수평 전개력이 감소하여 가두리 내부 용적이 감소하였고, 저항도 증가하였다.

또한, 예인 속도 2.0 knot에서 수평 전개력이 567kgf, 945kgf일 경우에는 용적 감소율이 약 25%를 나타내었으나, 수평 전개력이 189kgf으로 작을 경우와 1512kgf으로 지나치게 클 경우에는 용적 감소율이 증가하였다. 또한, 수평 전개력이 커짐에 따라 발생하는 저항도 증가하였다.

적절한 예인 가두리의 수직 및 수평 전개력의 크기는 예인 속도에 따른 저항의 증가를 고려하여 선택하여야하나, 예인 속도 2.0 knot일 때, 가두리 용적 감소율을 30% 이하로 허용할 경우, 수직 전개력은 885kgf, 수평 전개력은 567kgf 정도로 추정되었다.



요 약

최근 수산물 소비의 양적 증가와 더불어 질적 수요가 증가함으로써, 외해 및 연근해에서 어획된 회유성 어종인 고등어나 참치 등과 같은 어류를 활어 상태로 안전하게 이송할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

본 논문에서 설계한 활어 이송용 예인 가두리 시스템은 카이트를 부착하여 예인 시 형상 변형을 최소화함으로써 어류의 서식 공간을 확보할 수 있다는 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 이송속도도 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 활어 이송용 예인 가두리 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 통하여 가두리 시스템의 역학적 거동과 성능을 분석하였다.

설계한 활어 이송용 예인 가두리 시스템의 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

1. 가두리에 부착한 뜸과 체인은 가두리의 수직 전개력을, 카이트는 수평 전개력을 발생시켜 예인 시 가두리의 내부 공간을 확보하게 해주었다.
2. 예인 속도가 빠를수록 예인줄에 작용하는 저항이 증가하였으며, 가두리 입구 쪽이 뜨는 현상이 나타났다.

3. 총 전개력이 1452kgf이고, 예인 속도가 1.0, 2.0, 3.0 knot일 때, 가두리 용적 감소율은 각각 7.7%, 25.3%, 41.5%였다.

4. 시뮬레이션 결과를 통해 수직 전개력 885kgf, 수평 전개력 567kgf이 발생되도록 활어 이송용 예인 가두리 시스템이 설계가 된다면, 예인 속도 2.0 knot에서 용적 감소율이 약 25%로 추정된다.



감사의 글

한없이 부족한 저를 지난 2년간 항상 옆에서 따뜻하게 보듬어 주신 이춘우 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 바쁘신 와중에도 많은 조언과 격려를 주신 강일권 교수님과 신현옥 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 학문적으로, 인성적으로 많은 가르침과 의욕을 북돋아주셨던 신형일 명예교수님, 이주희 명예교수님, 이대재 교수님, 장창익 교수님, 홍철훈 교수님, 김형석 교수님, 임석원 교수님께 감사의 인사를 드리며, 항상 미소와 함께 가르침을 주신 권병국 교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

이렇게 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 이명우 선배님, 멀리 여수에서도 항상 챙겨주시는 이지훈 교수님, 저의 119 최무열 박사님, 든든한 형님 이인현 선배님께 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

그리고 석사과정을 무사히 끝낼 수 있도록 많은 격려와 관심, 도움을 주신 차봉진 박사님, 김현영 박사님, 원성재 선배님, 이건호 박사님, 윤홍근 선배님, 함상준 선배님, 이보형 선배님, 오일환 선배님, 김희정, 문균재, 이다운, 실험실 후배들 모두에게 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 공부를 계속할 수 있도록 지원과 격려, 사랑을 주시는 할아버지, 할머니, 아빠, 엄마, 동생, 큰고모, 작은고모, 삼촌께 감사와 사랑의 마음을 전합니다.

참고문헌

- Huang C.C., Tang H.J., Liu J.Y. (2008) : Effects of waves and currents on gravity-type cages in the open sea, *Aquaculture Engineering*, 38, 105-116.
- Lader P.F., Fredheim A. (2006) : Dynamic properties of a flexible net sheet in waves and current - a numerical approach, *Aquaculture Engineering*, 35, 228-238.
- Lee J.H., Lee C.W., Cha B.J. (2005) : Dynamic simulation of tuna longline gear using numerical methods, *Fisheries Science*, 71, 1287-1294.
- Fredriksson D.W., DeCew J.C., Tsukrov I. (2007) : Development of structural modeling techniques for evaluating HDPE plastic net pens used in marine aquaculture, *Ocean Engineering*, 34, 2124-2137.
- Lee C.W., Kim Y.B., Lee G.H., Choe M.Y., Lee M.K., Koo K.Y. (2008) : Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves, *Ocean Engineering*, 35, 1521-1532.
- Lee J.H., Karlsen L., Lee C.W. (2008) : A method for improving the dynamic simulation efficiency of underwater flexible structures by implementing non-active points in modelling, *ICES Journal of Marine Science*, 65, 1552-1558.
- Tsukrov I., Eroshkin O., Fredriksson D., Robinson S.M., Celikkol B. (2003) : Finite element modeling of net panels using a consistent net element, *Ocean Engineering*, 30, 251-270.
- 김태호, 김창길, 김호상, 백철인, 류청로 (2002) : 가두리 시설이 파랑과 흐름에 의

- 해 받는 유체력 특성, 한국어업기술학회지, 38(3), 190-196.
- 배봉성 (2004) : 어구전개용 캔버스 카이트의 유체역학적 특성, 부경대학교 대학원 수산물리학과 수산학박사 학위논문.
- 송대호, 이춘우 (2009) : 망지의 유체역학적 계수에 관한 연구, 한국어업기술학회지, 45(1), 34-45.
- 최무열 (2011) : 트롤 전개관의 동적 거동 모델링 및 수치 시뮬레이션 연구, 부경대학교 대학원 수산물리학과 이학박사 학위논문.
- 김희정 (2012) : 영각, 레이놀즈수 및 공극률에 따른 평면 망지의 유체역학적 계수, 부경대학교 대학원 수산물리학과 이학석사 학위논문.
- 국립수산과학원 (2011) : 참다랑어 이송 시스템 개발, 2010년도 국립수산과학원 사업보고서.
- 한국해양수산개발원 (2013) : KMI 수산동향.

