

水産學碩士 學位論文

예망 어구의 어획노력량 추정

指導教授 李 春 雨

이 論文을 水産學碩士學位論文으로 提出함.



2004年 2月

釜慶大學校 大學院

水産物理學科

尹 弘 根

尹弘根의 水産學碩士 學位論文을 認准함

2003年 12月 26日

主 審 水産學博士 李 珠 熙



委 員 水産學博士 金 炯 碩



委 員 水産學博士 李 春 雨



목 차

ABSTRACT	3
서 론	6
재료 및 방법	8
1. 대상 어업의 실태 조사	8
1) 중층 트롤 어업	8
2) 저층 트롤 어업	10
3) 쌍끌이 기선저인망 어업	12
2. 어획노력량 계산	14
1) 수치계산 모델	14
2) 여과용적 계산	18
결과 및 고찰	20
1. 어획노력량	20
1) 중층 트롤	20
(1) 중층 트롤의 망구형상	20
(2) 중층 트롤의 어획노력량	22
2) 저층 트롤	25
(1) 저층 트롤의 망구형상	25

(2) 저층 트롤의 어획노력량	27
3) 쌍끌이 기선저인망	30
(1) 쌍끌이 기선저인망의 망구형상	30
(2) 쌍끌이 기선저인망의 어획노력량	33
2. 어획노력량의 업종별 비교	38
요 약	40
감사의 글	42
참고 문헌	43

Fishing effort estimation of the towed fishing gear

Hong-Keun YOON

*Department of Fisheries Physics, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

In this research, how to appreciate fishing effort and analyze the shape as well as the filtering area and volume according to the towing speed of a mid-water trawl, bottom trawl and a pair trawl, respectively, which are the standard in the dragged fishing gears.

Followings are the results from this research.

1. Fishing effort of a mid-water trawl depends on the underwater shape of the fishing gear based on the towing speed; the filtering

area of the net mouth. The filtering area was the biggest when the towing speed was 2m/s, and the total filtering volume tended to increase in the proportional to that the increased towing speed resulted in the increased the towing distance. However, the increase rate of the filtering volume tended to decrease at the speed of 2m/s.

2. Fishing effort of a bottom trawl depends on the underwater shape of the fishing gear based on the shearing interval of otter boards; the filtering area of the net mouth. The filtering area was the biggest when the towing speed was 1.75m/s, and the total filtering volume increased as the towing speed increased. However, the increase rate of the filtering volume decreased as the towing speed increased.

3. Fishing effort of a pair trawl depends on the underwater shape of the fishing gear based on the towing speed as well as the two ships' interval; the filtering area of the net mouth. When the interval was set at 350m, the filtering area decreased as the towing speed increased. And the filtering volume was the biggest at the speed of 3.5knot(1.75m/s) of the towing speed. When the towing speed was set at 3.5knot(1.75m/s), the filtering area and

the volume increased as the interval increased. And the increase rate of the filtering volume decreased as the interval was over 400m.

4. As a result of comparison of the fishing efforts among the mid-water trawl, the bottom trawl and the pair trawl which are the standard fishing gears, the pair trawl showed the biggest fishing effort, and mid-water trawl and the bottom are the minor in order.

I. 서 론

어획노력량은 어획에 투입되는 노력량을 의미하는 개념으로 지금까지는 투·양망 횟수, 예망 시간 또는 어구의 투입량을 기초로 산출되었다. 그러나 해양생태계에 가해지는 어획노력량은 어구의 수중형상이나, 조업 조건에 영향을 받는다. 최근의 어업기술은 어획노력량의 증대를 목표로 어구설계기술이 크게 진보되어 어획성능이 높은 어구가 출현하고 있으나 어구에 대한 어획노력량 평가방법은 과거의 방법을 그대로 사용하고 있다. 즉, 같은 업종이라도 어구의 규모가 큰 어구를 이용할 경우 어획노력량은 어구의 규모를 고려하여 다르게 평가되어야 하나 현재의 평가 방법으로는 어구의 규모를 고려할 수 없다. 그러므로 어구의 규모를 고려한 어구의 어획노력량을 어구별로 정확히 평가할 수 있는 방법이 필요하다.

어획량 결정의 중요한 요소인 어획노력량은 어구의 종류, 규모, 형상 및 조업 방법에 따라 변하게 된다. 최근에는 컴퓨터 계산기술의 발달로 인하여 다양한 종류의 어구에 대해서 어구의 구조와 조업조건을 충분히 반영하여 어획노력량을 수치 해석을 통하여 계산할 수 있다.^{1,2,3)} 본 연구에서는 한국의 대표적인 예망 어구인 트롤과 쌍끌이 기선저인망에 대하여 어획노력량 평가 방법을 제시하고자 하였다. 예망 어구의 어획노력량은 어구의 규모를 고려하여 여과용적으로 나타낼 수 있으며, 여과용적은 어구의 망구면적에 이동 거리의 곱으로 나

타낼 수 있다. 어구의 망구면적은 어구의 구조, 예망 속도, 끌줄의 길이 등에 따라 결정된다.

본 연구에서는 한국의 대표적인 예망 어구인 중층 트롤, 저층 트롤 및 쌍끌이 어구에 대해서 실태 조사를 실시하여 정확한 어구의 규격과 조업 조건을 알아내었고, 이 자료를 토대로 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 망구면적과 여과용적을 계산하였고, 어업별로 어획노력량을 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상 어업의 실태 조사

1) 중층 트롤 어업

본 연구에서 조사된 근해 대형 중층 트롤 어업의 어선 톤수는 139ton, 1300hp이며, 어구는 대형 망목의 4매식 그물을 사용하고 있다(Fig. 1).

근해 대형 중층 트롤 어업은 평균 7월부터 그 다음해 4월까지 일년에 7개월 정도를 조업하는데, 하루 투망 횟수는 2~3회 정도이며, 예망 속도는 3~3.5 *knot*, 평균 예망 시간은 4시간 정도이다. 1항차의 조업 일수는 월별로 차이를 보이지만, 평균 5~10일이다. 대상 어종은 여기에 따라서 달라지지만, 많이 어획되는 것은 오징어, 갈치 등이다. 조업 수역은 7~9월까지의 동지나해의 493해구이며, 10월~다음해 1월까지의 울릉도 근해의 89해구에서 조업을 한다.

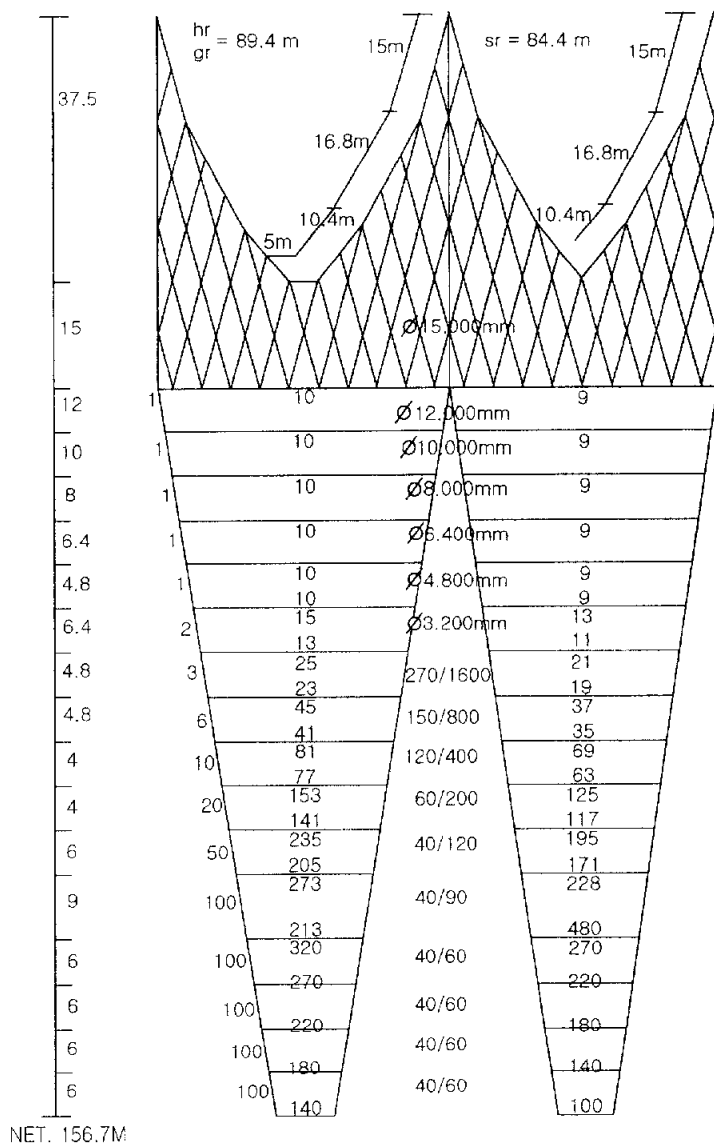


Fig. 1. Design drawing of a mid-water trawl.

2) 저층 트롤 어업

조사된 저층 트롤 어업은 어선이 100ton, 기관출력이 600hp이며, 현장에서 사용되고 있는 어구는 4매식 그물을 사용한다(Fig. 2).

저층 트롤 어업은 7월부터 그 다음해 3월·4월까지 일년에 10개월을 조업을 한다. 하루에 5~6회 정도 조업을 하며, 1항차 소요 일수는 약 10일 정도이다. 예망 속도는 2~3knot정도이며, 예망 시간은 평균 3시간 정도이다.

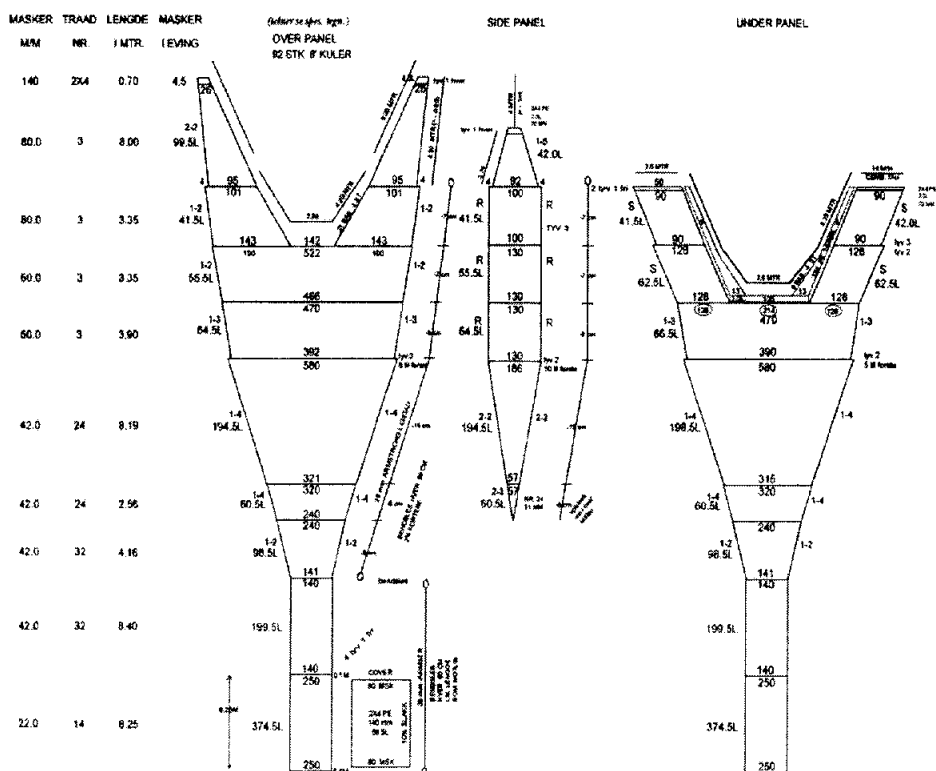


Fig. 2. Design drawing of a bottom trawl.

3) 대형 쌍끌이 기선저인망 어업

본 연구에서 조사된 근해 대형 쌍끌이 기선저인망 어업의 어선은 주선·종선 모두 139ton, 1300hp이며, 어구는 대형 망목의 4매식 그물을 사용하였다(Fig. 3).

근해 대형 쌍끌이 기선저인망은 평균 6월부터 그 다음해 4월·5월까지 일년에 10개월 정도를 조업하는데, 1항차의 조업 일수는 평균 3개월, 하루 평균 투망 횟수는 4회이며, 조업 중 예망 속도는 3~4knot이고, 평균 예망 시간은 4시간 정도이며, 조업 중 양선의 간격은 300m~400m이다. 대상 어종은 조기, 갈치, 병어, 삼치 등이며, 조업 어장은 동지나해이다.

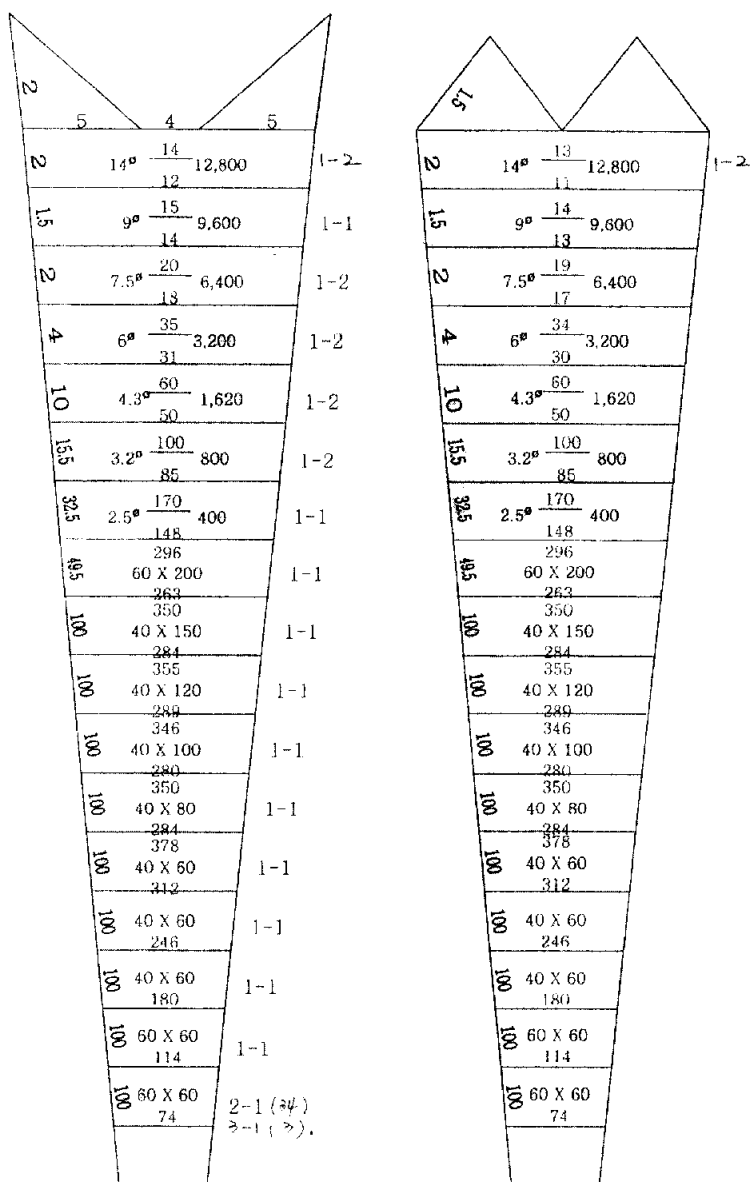


Fig. 3. Design drawing of a pair trawl.

2. 어획노력량 계산

1) 수치계산 모델

본 연구에서는 예망 속도에 따른 어구의 망구형상을 구하여 어구의 여과 용적을 구하였다. 어구의 여과용적은 예망 어구의 설계 및 시뮬레이션 도구인 SimuTrawl*를 사용하였다. 어구 시스템의 수치계산 모델은 구조물을 구성하는 여러 요소를 유한개의 절점으로 분해한 후 이들 절점들이 탄성이 있는 줄로서 연결되어 있는 물리 시스템으로 보고 기술한다. 이 방법은 어구를 구성하는 요소 중 가장 많은 부분을 차지하는 망지에 적용시키면 망지의 매듭(knot)은 절점으로, 받(bar)은 이들 절점을 연결하는 스프링으로 간주된다.

여기서 망지에 작용하는 항력 및 양력, 침강력 그리고 부력 등의 모든 외력은 절점에만 집중되어 작용된다. 그리고 이들 절점을 연결하는 스프링은 질량, 부피 그리고 면적이 모두 스프링의 끝에 있는 절점에 집중되어 있는 것으로 간주되므로 스프링에는 외력이 전혀 작용하지 않으며, 단지 절점 사이에서 탄성력에 의한 내력만 작용하는 것으로 간주한다. 또한, 구조물에 포함된 각 종 속구인 침자 부자들도 하나의 절점으로 간주한다. Fig. 4는 수중 유연 구조물의 기본 요소가 되는 그물코에 대한 모델링 방법을 보여준다.

* MPSTL ver.3.0, www.fishsys.com

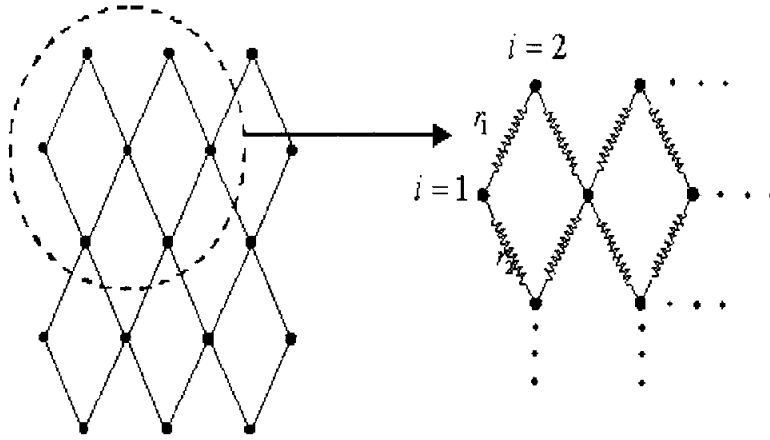


Fig. 4. Modeling for a fishing gear system.

이러한 질점계를 정식화하여 운동방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$m \ddot{q}_i = f_k \quad (1)$$

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

내력은 질점을 연결하는 줄의 탄성에 의해 야기되는 힘이고, 외력은 각 질점에 작용하는 중력, 부력, 항력 및 양력 등의 힘을 나타낸다.

각 질점에 작용하는 내력을 식으로 나타내면

$$f_i = -\sum k_i \frac{r_i}{\|r_i\|} (\|r_i\| - l) \quad (2)$$

여기서, k_i 는 어구를 구성하는 각 종 줄 또는 그물발의 탄성계수이며, r_i 은 질점 i 의 위치벡터, $\|r_i\|$ 은 위치벡터의 크기, l 는 질점간의 원래 길이 즉, 그물발 또는 줄의 원래 길이이다.

망지와 유체의 흐름 방향이 이루는 각을 영각(α)이라하면 항력(R_x) 과 양력(R_y)을 식으로 나타내면

$$R_x = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2 \quad (3)$$

$$R_y = \frac{1}{2} C_L \rho S v^2 \quad (4)$$

여기서 ρ 는 해수의 밀도, S 는 망사의 면적, v 는 흐름의 속도이다. C_D 와 C_L 은 각각 항력계수와 양력계수이다.

어구 시스템의 운동을 지배하는 운동 방정식은 식(1)에 내력과 외력을 대입하여 정리하면 다음과 같이 시간 t 에 대한 2차의 상미분 방정식의 형태로 기술된다.

$$m\ddot{q}(t) + c\dot{q}(t)^2 + kq(t) = F(t) \quad (5)$$

이때, q 는 t 시간에 대한 질점의 위치, $\dot{q}$ 는 속도, $\ddot{q}$ 는 가속도, m 은 질량, c 는 감쇠계수 그리고 k 는 스프링의 탄성계수이다.

본 연구에서는 비선형 2차 상미분 방정식의 형태로 정식화된 예망 어구의 시스템을 풀기 위해서 뉴마크-베타법을 사용하였다. 이 방법

은 정확성과 안정성을 보장하면서도 계산해야 할 식의 수가 상대적으로 적어 계산 시간이 적게 드는 방법이다.^{4,5)}

식(5)과 같이 표현되는 일반적인 2차 상미분 방정식을 뉴마크-베타 방법으로 풀이하면 다음 식에 의해 위치(q)와 속도($\dot{q}$)를 구할 수 있다.

$$q(t + \Delta t) = q(t) + \dot{q}(t)\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta\right)\ddot{q}(t) + \beta\ddot{\tilde{q}}(t + \Delta t)\right]\Delta t^2 \quad (6)$$

$$\dot{q}(t + \Delta t) = \dot{q}(t) + \frac{1}{2}[\ddot{q}(t) + \ddot{\tilde{q}}(t + \Delta t)]\Delta t \quad (7)$$

식(6)에 포함된 가속도 $\ddot{q}$ 는 식(5)을 이용해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\ddot{q}(t + \Delta t) = m^{-1}[F(t + \Delta t) - C\dot{q}(t + \Delta t) - kq(t + \Delta t)] \quad (8)$$

또한, 식(6)과 (7)의 $\ddot{\tilde{q}}(t + \Delta t)$ 는 가속도의 가정치로서, 가정치와 식(8)에 의한 계산값이 일치하면 계산을 종료하고 Δt 가 진행된 다음 단계의 계산을 수행한다. 그러나 가정치와 계산치가 일치하지 않을 경우에는 아래식과 같이 상대적인 오차 ε 을 계산하여 오차가 ε 보다 작으면 다음단계의 계산을 수행하고, ε 보다 크면 반복계산을 수행한다. 반복 계산시에는 가속도의 가정치에 가속도의 계산치를 대입하여 놓고 계산하는 것이 일반적이다.

$$\left| \frac{\ddot{q}(t+\Delta t) - \ddot{q}(t)}{\ddot{q}(t+\Delta t)} \right| \leq \varepsilon \quad (9)$$

2) 여과 용적의 계산

예망 어구의 어획노력량은 어구의 여과용적으로 추산하였다. 여과용적은 부피의 개념으로 망구의 면적에 예망 거리의 곱으로 나타낼 수 있으므로 어구의 규모와 조업 조건의 변화를 반영 할 수 있다. 즉 망구의 면적은 어구의 규모 및 구조, 예망 속도 등에 따라 달라진다.

예망 어구의 여과용적은 Fig. 5의 망구면적(S_T)에 조업시간(t)과 예망 속도(v)를 고려하여 예망 어구의 여과용적은 (7)식과 같이 망구면적에 이동거리(d)를 곱하여 나타낼 수 있다.

$$V_T = S_T \times d \quad \text{-----}(10)$$

중층 트롤의 망구형상을 관찰하기 위해서 현장에서 조사된 평균 예망 속도인 $3.5knot(1.75m/s)$ 를 기준으로 $2knot(1m/s)$ 에서 $6knot(3m/s)$ 까지 시뮬레이션 하였으며, 저층 트롤은 예망 속도가 $3knot(1.5m/s)$ 를 기준으로 $2knot(1m/s)$ 에서 $4knot(2m/s)$ 까지 시뮬레이션 하였다.

쌍끌이 기선저인망의 경우는 조업 조건을 양선간의 간격과 예망 속도의 두 가지 경우에 대해서 어구의 망구형상을 관찰하였다. 먼저 조

업 중 평균 양선 간격인 $350m$ 로 일정하게 양선의 간격을 유지하고, 조업 중 평균 예망 속도 $3.5knot(1.75m/s)$ 를 기준으로 $2.5knot(1.25m/s)$ 에서 $4.5knot(2.25m/s)$ 까지의 예망 속도에서 어구의 망구형상을 관찰 하였으며, 다음은 조업 중 평균 예망 속도인 $3.5knot(1.75m/s)$ 로 일정하게 예망할 때, 양선 간격을 $250m$ 에서 $450m$ 까지의 어구의 망구형상을 관찰하였다.

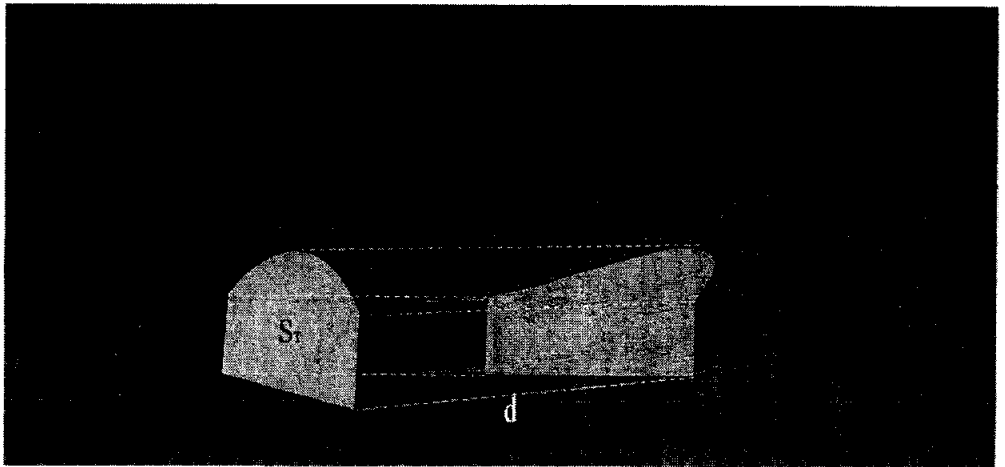


Fig. 5. Schematic drawing of filtering volume.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 예망 어구의 어획노력량

1) 중층 트롤

(1) 중층 트롤의 망구형상

중층 트롤의 망구형상은 어구의 구조, 예망 속도, 끌줄의 길이 등의 조건에 따라 달라지나, 본 연구에서는 예망 속도에 따른 망구형상의 변화를 관찰 하였다. 예망 속도는 현장에서 사용하고 있는 평균 예망 속도인 $3.5knot(1.75m/s)$ 를 기준으로 $2knot$ 에서 $6knot$ 까지 다양한 예망 속도에서 어구의 망구형상을 시뮬레이션을 통하여 관찰하였다.

예망 속도가 $2knot(1m/s)$ 의 경우, 망구형상은 그물의 망폭이 좁고, 망고가 높은 형태를 나타내었으며, $6knot(3m/s)$ 의 경우에는, 망폭이 넓고, 망고가 좁아지는 형상을 나타내었다(Fig. 6). 현장에서 조업시 예망 속도는 $3knot \sim 4knot$ 이므로 Fig. 6에서 (b),(c)와 같은 망구형상이라고 할 수 있다.

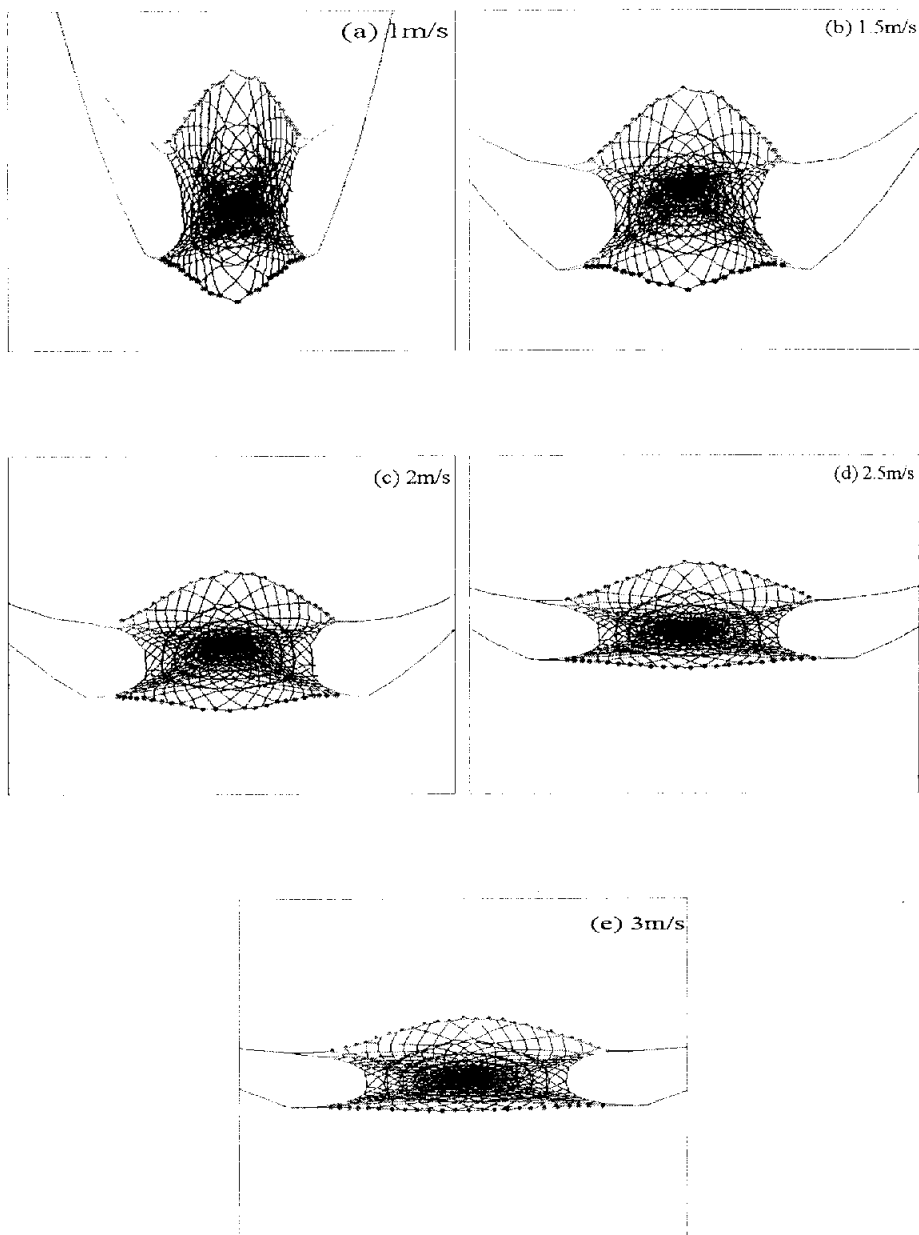


Fig. 6. The shape of net mouth according to the towing speed.

(2) 중충 트롤의 어획노력량

중충 트롤의 어획노력량은 어구의 망구면적에서 예망 시간동안 어구가 이동한 거리의 곱으로 나타낼 수 있다. 중충트롤 어구의 망구형상은 타원의 형태로 나타났다. 최근의 중충 트롤 어구는 망구면적이 매우 크면서 대형의 망목에 그물실은 가는 줄로 구성하고 있어서 망구를 제외한 전개판과 후릿줄은 상대적으로 어군의 구집효과가 크지 않은 것으로 생각하여 본 연구에서는 중충 트롤의 경우 망구의 면적만을 유효 어획노력량을 산출하는 면적으로 보았다.

Fig. 7은 중충트롤의 시뮬레이션에서 예망 속도가 $4knot(2m/s)$ 일 때의 어구의 뜬줄과 발줄의 위치를 나타내며, Fig. 8은 Fig. 7의 뜬줄과 발줄 부분의 위치를 좌표 상에 나타낸 그림이다. 뜬줄과 발줄에 의해 생기는 다각형의 면적을 사다리꼴 적분공식을 이용하여 구하였으며, 면적이 구해지면 예망 거리를 곱하여 여과용적을 구하였다. Table 1은 중충 트롤의 예망 속도에 따른 망구의 여과면적과 하루 동안의 여과용적을 나타내고 있다. Fig. 9는 예망 속도의 변화에 따른 여과용적의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Table 1에서 중충 트롤의 예망 속도에 따라서, 망구의 여과면적이 변하는 것을 볼 수 있으며, $2m/s$ 일 때의 망구의 여과면적이 가장 넓게 나타났다지만, 여과용적은 속도가 증가될수록 커졌고 증가율은 예망 속도 $2m/s$ 에서부터는 감소되었다(Fig. 9).

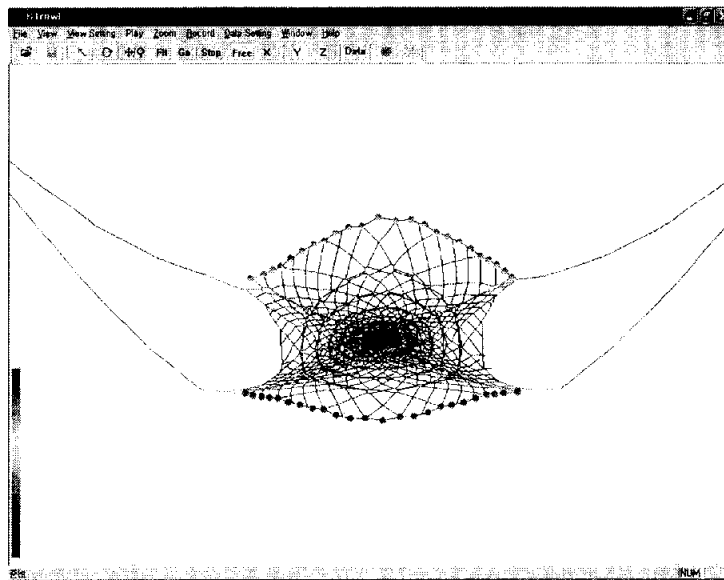


Fig. 7. Position of the head rope and ground rope in mid-water trawl.

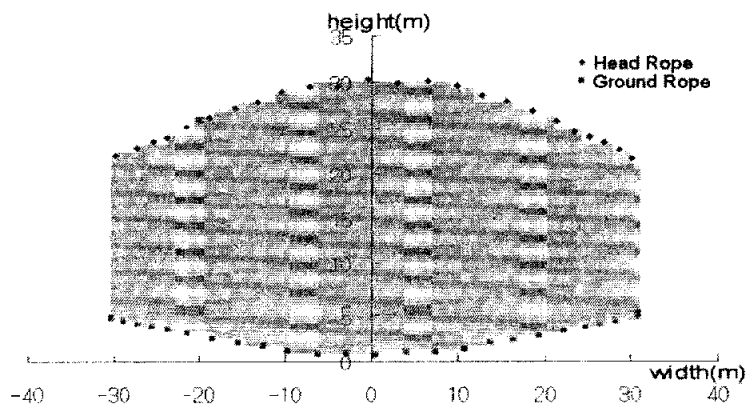


Fig. 8. Coordinates of the head rope and ground rope in mid-water trawl.

Table 1. Filtering area and filtering volume according to the towing speed of mid-water trawl

Towing Speed(m/s)	Hauling hour	Shooting times per day	Moving distance per day(m)	Filtering Area(m ²)	Filtering Volume(m ³)
1	4	3	43200	991.45	4283×10 ⁴
1.5	4	3	64800	1174.74	7612.3×10 ⁴
2	4	3	86400	1265.17	10931.1×10 ⁴
2.5	4	3	108000	1210.17	13069.8×10 ⁴
3	4	3	129600	1075.09	13933.1×10 ⁴

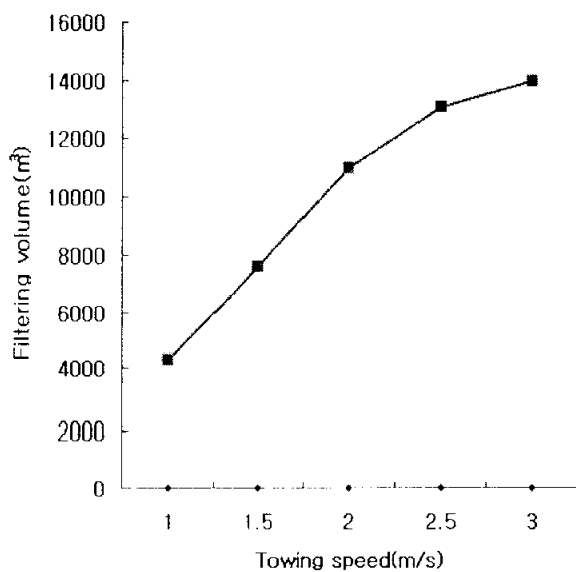


Fig. 9. According to change of filtering volume in mid-water trawl.

2) 저층 트롤

(1) 저층 트롤의 망구형상

저층 트롤의 망구형상은 어구의 구조, 예망 속도, 끌줄의 길이 등의 조건에 따라 달라지나, 본 연구에서는 예망 속도에 따른 망구의 형상 변화를 관찰하였다. 예망 속도는 현장에서 사용하고 있는 평균 예망 속도인 $3knot(1.5m/s)$ 를 기준으로 $2knot$ 에서 $4knot$ 까지 다양한 예망 속도에서 어구의 망구형상을 시뮬레이션을 통하여 관찰하였다.

예망 속도가 $2knot(1m/s)$ 의 경우, 망구형상은 해저와의 마찰로 인해 그물의 망폭이 좁고, 망고가 높은 형태를 나타내었으며, 예망 속도가 $4knot(2m/s)$ 의 경우는 $2knot$ 일 때 보다는 전개판의 간격이 넓고, 망고가 낮은 형태를 나타낸다(Fig. 10). 현장에서 조업시 예망 속도는 $2knot \sim 3knot$ 이므로 Fig. 10에서 (a), (b), (c)와 같은 망구형상이라고 할 수 있다.

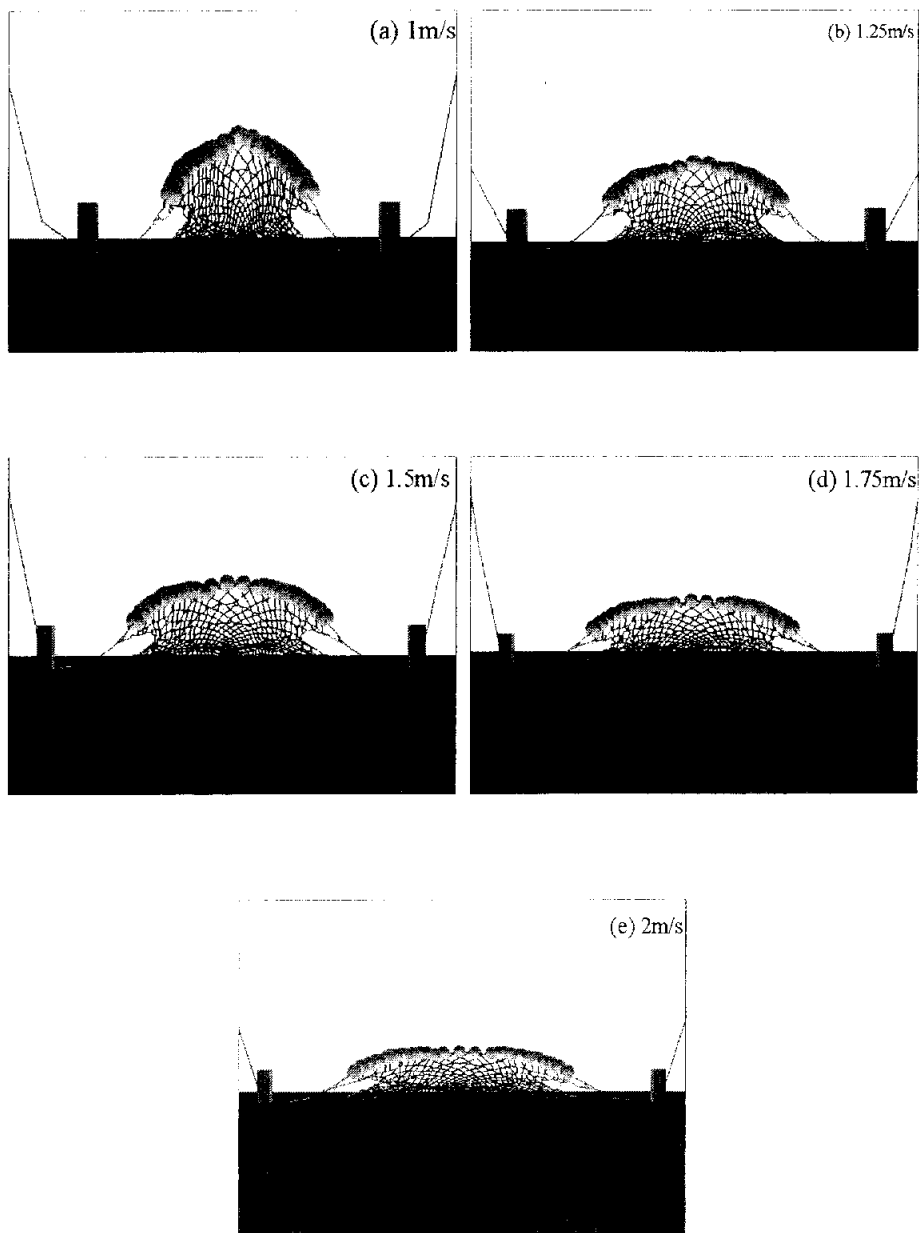


Fig. 10. The shape of net mouth according to the towing speed.

(2) 저층 트롤의 어획노력량

저층 트롤의 어획노력량도 중층 트롤과 같이 어구의 망구면적에서 예망 시간동안 어구가 이동한 거리의 곱으로 나타낼 수 있다. 저층 트롤은 발줄 부분이 해저에 닿기 때문에, 어구의 망구형상이 발줄 부분은 평평하고 뜬줄 부분은 타원의 형태를 나타낸다. 저층 트롤은 전개판과 후릿줄에 의해서 해저 바닥에 있는 진흙 등이 수중으로 부상하게 된다. 이러한 현상은 어군을 구집하는 효과를 가지고 있기 때문에 저층 트롤 어구의 망구면적에는 전개판과 후릿줄 부분을 포함하는 것이 타당할 것으로 판단하였다.

Fig. 11은 예망 속도가 $3knot(1.5m/s)$ 일 때 저층 트롤 어구의 망구형상으로 뜬줄과 발줄 및 전개판의 위치를 확인 할 수 있으며, Fig. 12는 Fig. 11의 뜬줄과 발줄 및 전개판의 위치를 좌표로 나타낸 것이다. 정확한 면적을 계산하기 위해서 전개판과 후릿줄, 뜬줄 및 발줄이 이루는 다각형이 가지는 면적을 사다리꼴 적분공식을 이용하여 구하였다. 면적이 구해지면 예망 거리를 곱하여 여과용적을 구하였다. Table 2는 저층 트롤의 예망 속도에 따른 망구의 여과면적과 하루 조업하는 동안의 여과용적을 나타내고 있다. 여과면적은 예망 속도가 $3.5knot(1.75m/s)$ 의 경우에 가장 크게 나타났으며, 여과용적은 예망 거리의 증가로 인하여 예망 속도가 $4knot(2m/s)$ 일 때 가장 크게 나타났다. Fig. 13은 예망 속도에 대한 여과용적의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 예망 속도가 $2knot(1m/s)$ 에서 $4knot(2m/s)$ 까지의 여과용적의 증가율은 조금씩 감소하였다(Fig. 13).

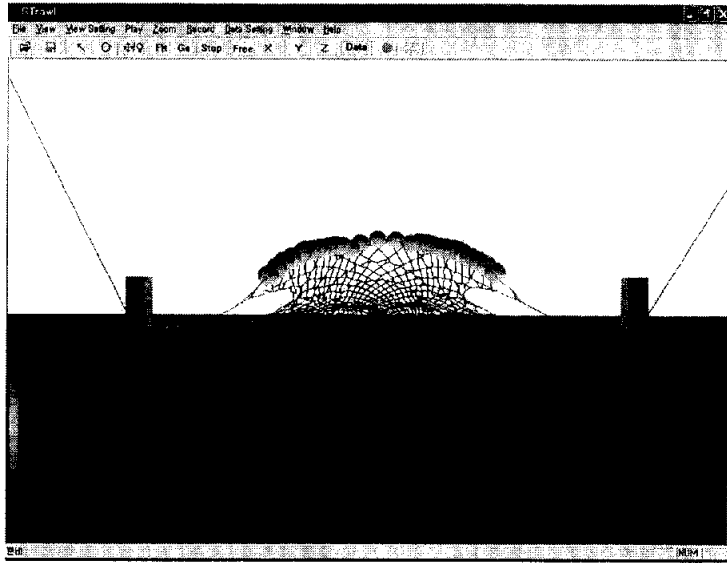


Fig. 11. Position of the head rope and ground rope and otter-board in bottom-trawl.

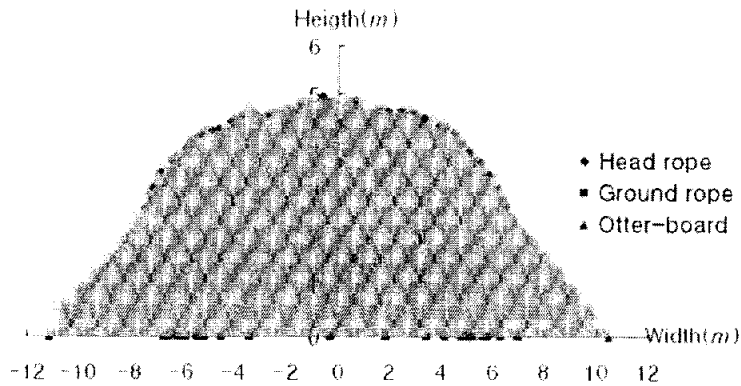


Fig. 12. Coordinates of the head rope and ground rope and otter-board in bottom-trawl.

Table 2. Filtering area and filtering volume according to the
towing speed on bottom trawl

Towing speed(m/s)	Hauling hour	Shooting times per day	Moving distance per day(m)	Filtering Area(m^2)	Filtering Volume(m^3)
1	3	5	54000	39.1	211.1×10^4
1.25	3	5	67500	55.76	376.3×10^4
1.5	3	5	81000	62.88	509.3×10^4
1.75	3	5	94500	66.48	628.2×10^4
2	3	5	108000	65.76	710.2×10^4

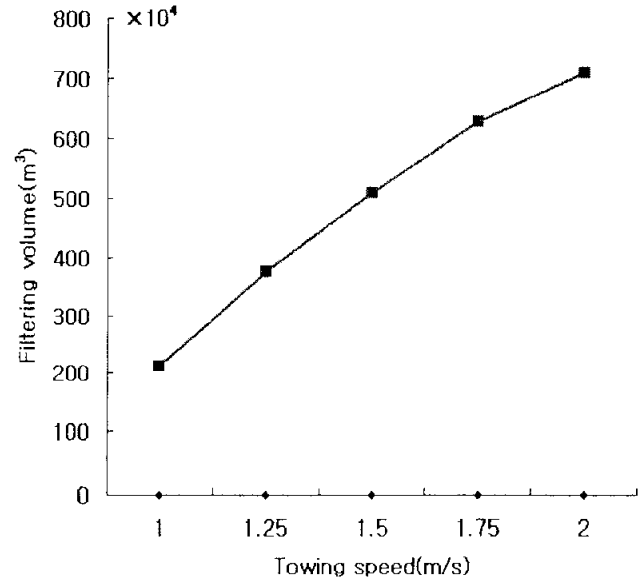


Fig. 13. According to change of filtering volume in bottom
trawl.

3) 쌍끌이 기선저인망

(1) 쌍끌이 기선저인망의 망구형상

쌍끌이 기선저인망의 망구형상은 같은 조업 조건이라 하더라도, 양선간의 간격과 예망 속도, 끌줄의 길이 등에 따라 그 형상이 달라진다. 본 연구에서는 현장에서의 평균 양선 간격인 350m와 평균 예망 속도 3.5knot(1.75m/s)를 기준으로 양선간의 간격은 250m에서 450m까지, 예망속도는 2.5knot에서 4.5knot노트까지 다양한 예망 속도에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 14는 양선 간격이 350m 일 때 예망 속도에 따른 망구형상을 나타내었다. 예망 속도가 2.5knot(1.25m/s)의 경우, 망구의 형상은 망폭과 망고의 크기가 비슷한 형태를 나타내고 있으며, 4.5knot(2.25m/s)의 경우에는 망폭은 크고, 상대적으로 망고의 크기가 좁은 형태의 망구형상을 하고 있다(Fig. 14).

Fig. 15는 예망 속도가 3.5knot(1.75m/s)로 일정할 때, 양선 간격에 따른 망구의 형상을 나타내고 있다. 양선 간격이 250m의 경우에는 망폭과 망고의 크기가 비슷한 망구형상을 나타내었으며, 양선 간격이 450m의 경우는 망고는 좁고, 망폭이 넓은 형태를 나타내었다(Fig. 15).

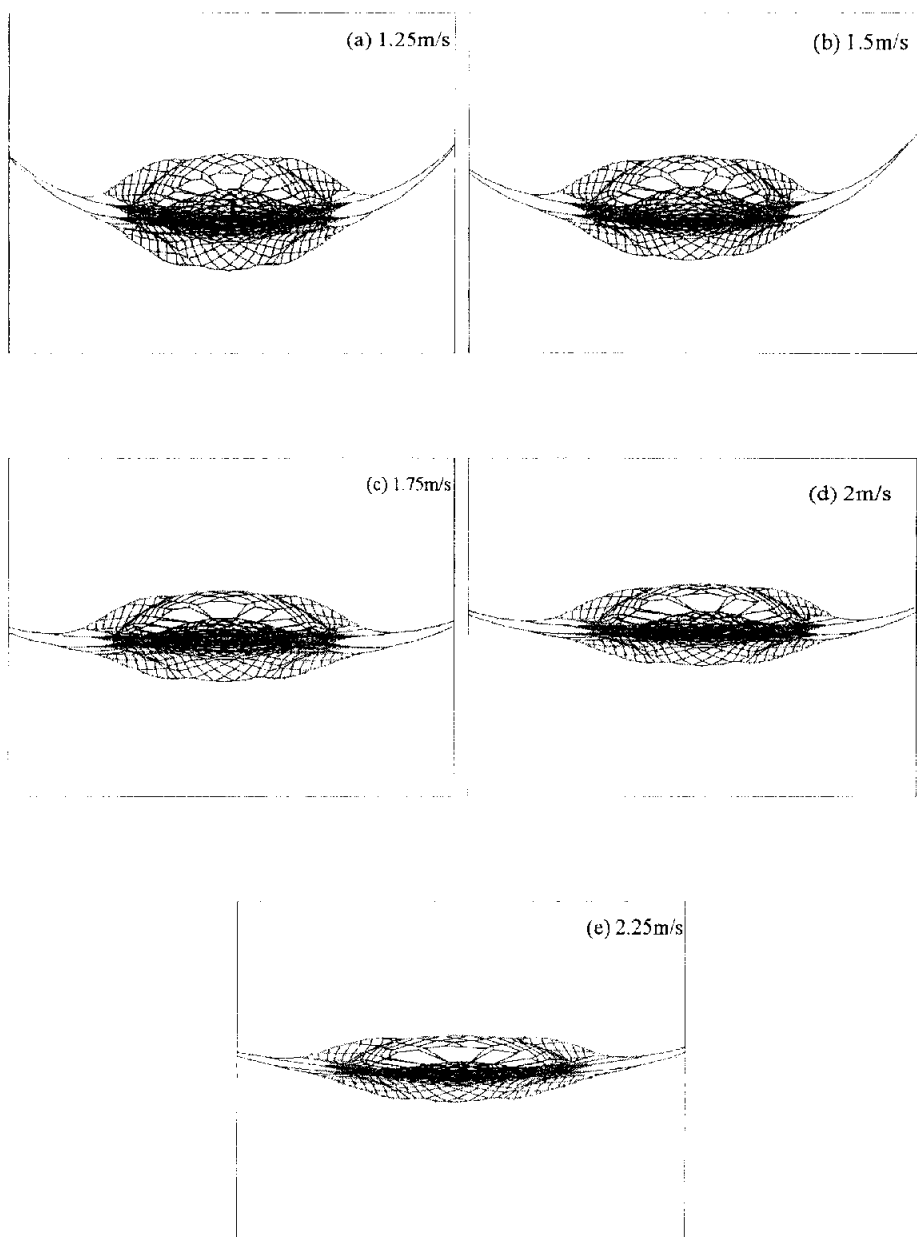


Fig. 14. The shape of net mouth according to the towing speed.

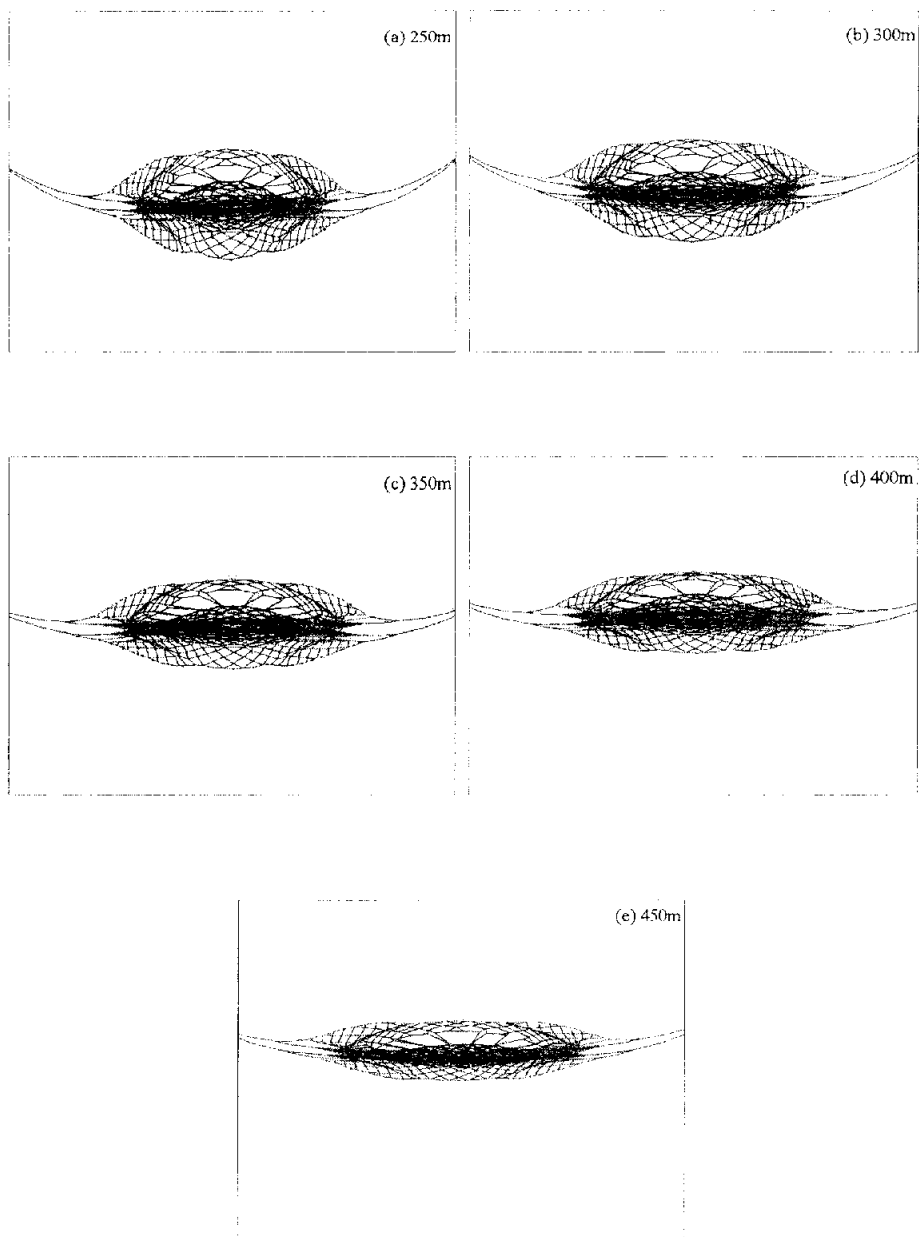


Fig. 15. The shape of net mouth according to a distance between vessels.

(2) 쌍끌이 기선저인망의 어획노력량

쌍끌이 기선저인망의 어구 구조는 중층 트롤과 유사하므로 어획노력량은 중층 트롤과 같이 어구의 망구면적에 예망 시간동안 어구가 이동한 거리의 곱으로 나타낼 수 있다. 쌍끌이 기선저인망의 망구형상은 타원의 형태로 나타났다.

Fig. 16은 쌍끌이 기선저인망의 시뮬레이션에서 예망 속도가 $3.5knot$ ($1.75m/s$)이고, 양선 간격이 $350m$ 일 때의 망구의 형상을 나타내며, Fig. 17은 Fig. 16에서 뜬줄과 발줄부분의 위치를 좌표 상에 나타낸 것이다. 뜬줄과 발줄에 의해 생기는 다각형의 면적을 사다리꼴 적분 공식을 이용하여 구하였으며, 면적이 구해지면 예망 거리를 곱하여 여과용적을 구하였다. Table 3은 양선 간격이 $350m$ 로 일정할 때, 쌍끌이 기선저인망의 예망 속도에 따른 망구의 여과면적과 여과용적의 변화를 나타낸다. Fig. 18은 예망 속도에 따른 여과용적의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 여과면적은 예망 속도가 증가 할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 여과용적은 $3.5knot(1.75m/s)$ 의 경우에 가장 크게 나타났다(Table 3).

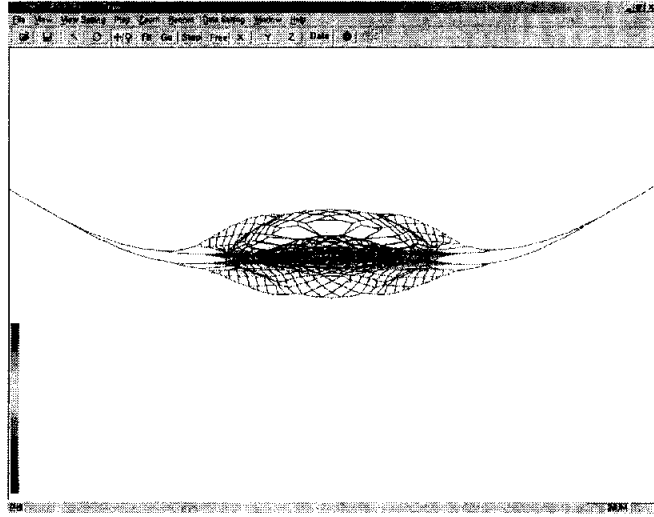


Fig. 16. Position of the head rope and ground rope in pair trawl.

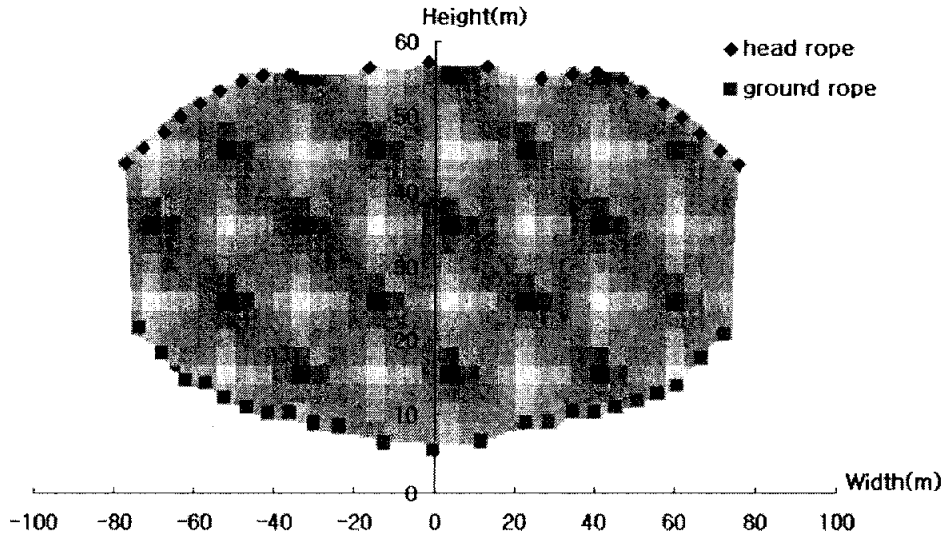


Fig. 17. Coordinates of the head rope and ground rope in pair trawl.

Table 3. Filtering area and filtering volume according to the
towing speed on pair trawl

Towing Speed(m/s)	Hauling hour	Shooting times per day	Moving distance per day(m)	Filtering Area(m^2)	Filtering Volume(m^3)
1.25	4	3	54000	3563.4	19242.3×10^4
1.5	4	3	64800	2928.9	18979.3×10^4
1.75	4	3	75600	2711.9	20502.6×10^4
2	4	3	86400	2224.7	19221.6×10^4
2.25	4	3	97200	1958.7	19039.3×10^4

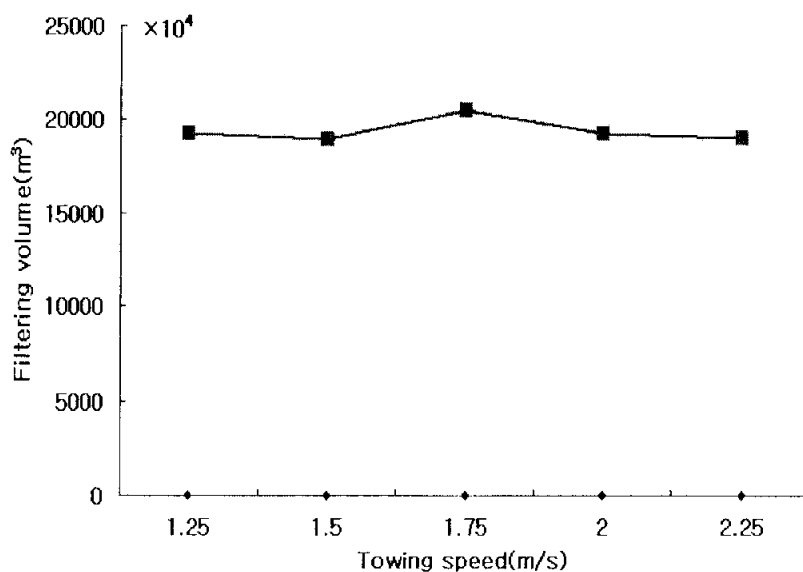


Fig. 18. According to change of filtering volume in pair trawl.

Table 4는 예망 속도가 $3.5knot(1.75m/s)$ 로 일정할 때, 쌍끌이 기선저인망의 양선 간격에 따른 망구의 여과면적과 여과용적의 변화를 나타내고 있다. Fig. 19는 양선간격에 따른 여과용적의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 예망 속도가 일정할 때, 여과면적과 여과용적은 양선 간격이 증가 할수록 증가하는 것을 확인 할 수 있다(Table 4). 여과용적의 증가율은 양선 간격이 $400m$ 까지는 증가하거나 일정하지만, $400m$ 이상에서는 조금씩 감소하는 것을 알 수 있다(Fig. 19).

Table 4. Filtering area and filtering volume according to the distance to between vessels

Distance (<i>m</i>)	Hauling hour	Shooting times per day	Moving distance per day(<i>m</i>)	Filtering Area(<i>m</i> ²)	Filtering Volume(<i>m</i> ³)
250	4	3	75600	2110.4	15955.2×10 ⁴
300	4	3	75600	2498.3	18819.7×10 ⁴
350	4	3	75600	2711.9	20502.6×10 ⁴
400	4	3	75600	2953.5	22328.6×10 ⁴
450	4	3	75600	3005.5	22752.5×10 ⁴

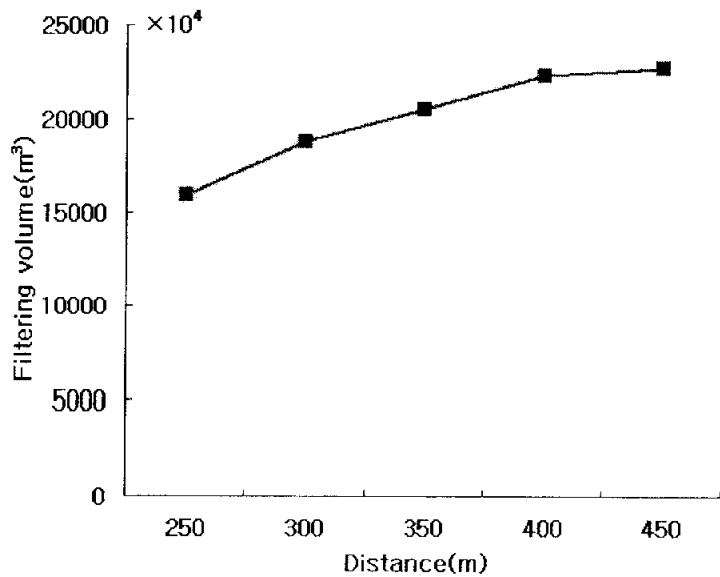


Fig. 19. According to change of filtering volume in pair trawl.

2. 어획노력량의 업종별 비교

한국의 대표적인 예망 어구인 중층 트롤, 저층 트롤 및 쌍끌이 기선저인망의 1일 조업당 어획노력량을 비교하였다. 여과용적은 현장에서 조사된 예망 속도, 예망 거리등의 조업 조건을 적용하여 계산하였다. Fig. 20에서 각 업종에 대한 1일 어획노력량을 그래프로 나타낸 것으로 쌍끌이 기선저인망의 어획노력량이 가장 크게 나타났으며, 다음으로 중층 트롤, 저층 트롤의 순으로 나타났다.

어획노력량이 쌍끌이 기선저인망과 중층 트롤에서 크게 나온 것은 이들 어구의 규모가 대형화된 것을 반영하고 있다고 볼 수 있다. 저층 트롤의 망목은 가장 큰 곳이 14cm이나, 중층 트롤이나 쌍끌이 기선저인망에서는 12~15m에 이므로 망구의 면적이 저층 트롤의 20~40배까지 크다. 따라서 쌍끌이 기선저인망과 중층 트롤이 어획노력량이 큰 것으로 계산되나, 이 여과용적안의 모든 어류가 어획되는 것은 아니므로 여기서 구해진 어획노력량이 바로 어획 압력이 된다고 볼 수는 없다. 어획노력량을 검토하기 위해서는 여과용적 안에서 어구를 조우한 어류 중 어느 정도가 어획되고 어느 정도가 빠져나갔는지 하는 어구의 어획 성능을 분석할 필요가 있다.

어구의 어획 성능은 어구와 대상어와의 상호 작용에 의해서 결정되며 어구의 선택성과 어군 행동과 관련된 분야도 앞으로 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

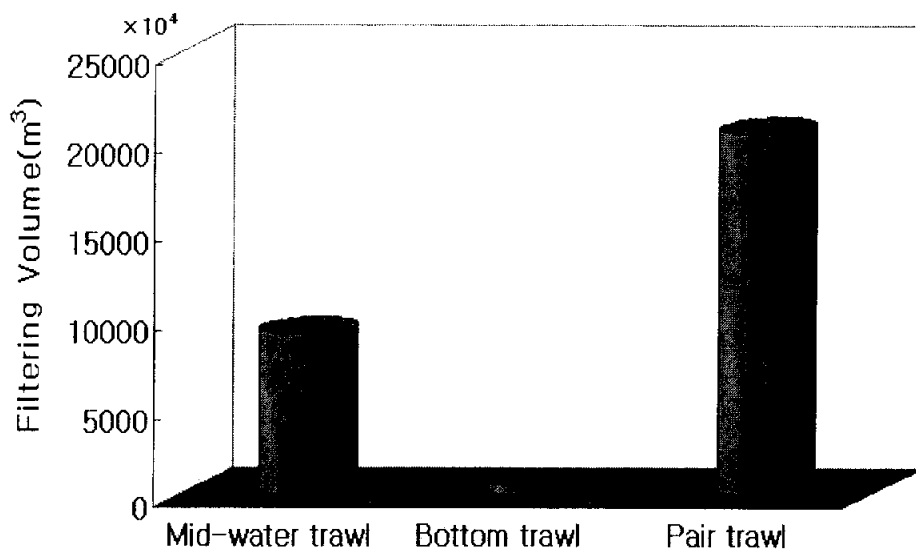


Fig. 20. Comparisons of fishing effort per day for each fishing method.

IV. 요약

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 기술을 이용하여 예망 어구들 중 대표적인 중층 트롤과 저층 트롤 및 쌍끌이 기선저인망에 대하여 예망 속도에 따른 어구의 망구형상과 여과면적 및 여과용적의 변화를 분석하였으며, 조업조건을 고려한 여과 용적을 지표로 하여 어획노력량 평가 방법을 제시하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중층 트롤의 어획노력량은 예망 속도에 따른 어구의 망구형상 즉, 망구의 여과면적에 의존한다. 예망 속도가 $2m/s$ 의 경우에 여과 면적이 가장 넓게 나타났으며, 총 여과용적은 예망 속도가 증가 할수록 예망 거리의 증가로 인하여, 여과용적이 증가하는 경향을 보였지만, 여과용적의 증가율은 $2m/s$ 부터는 감소하는 경향을 나타내었다.
2. 저층 트롤의 어획노력량은 전개판의 전개 간격에 의한 어구의 망구형상, 즉 망구의 여과용적에 의해 의존한다. 예망 속도가 $1.75m/s$ 일 때 여과면적이 가장 넓게 나타났으며, 총 여과용적은 예망 속도가 증가 할수록 증가하였다. 하지만 여과용적의 증가율은 예망 속도가 증가함에 따라 조금씩 감소하였다.

3. 쌍끌이 기선저인망은 예망 속도와 양선 간격에 따른 어구의 망구 형상, 즉 망구의 여과면적에 의존한다. 양선 간격이 350m로 일정할 때, 예망 속도가 증가 할수록 여과면적은 감소하였으며, 여과용적은 예망 속도가 1.75m/s에서 가장 크게 나타났다. 예망 속도가 1.75m/s로 일정할 때, 양선 간격이 증가 할수록 여과면적과 여과용적은 증가 하였으며, 여과용적의 증가율은 양선 간격이 400m 이상에서는 감소 하였다.

4. 한국의 대표적인 예망 어구인 중층 트롤, 저층 트롤 및 쌍끌이 기선저인망의 어획노력량을 비교한 결과, 쌍끌이 기선저인망이 가장 크게 나타났으며, 다음으로 중층 트롤, 저층 트롤 순으로 나타났다.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 세심한 지도를 해주신 이춘우 교수님과 바쁘신 와중에도 많은 조언을 해주신 이주희 교수님, 김형석 교수님께 진심으로 감사 드립니다.

그리고 어구의 설계 및 시뮬레이션에 많은 도움을 준 해양생산시스템 연구실 선후배님들에게 감사 드립니다.

아울러 지금까지 많은 힘이 되어주며 격려와 사랑을 아끼지 않으신 부모님과 형제들 그리고 저를 사랑하는 모든 분들에게 감사의 마음을 전합니다.

참 고 문 헌

1. Chun-Woo LEE(2002) : Dynamic Analysis and Control Technology in a Fishing gear system, Fisheries Science, 68, 1835-1840
2. Bong-Jin CHA, Chun-Woo LEE(2002) : Dynamic Simulation of a Midwater Trawl System's Behavior, Fisheries Science, 68, 1865-1868
3. 차봉진 · 이춘우 · 이주희 · 김현영(2002) : 중층 트롤 어구 시스템 운동의 유체역학적 시뮬레이션, 한국어업기술학회지, 38(2), 164~171
4. Newmark N. M. and ASCE, F. A.(1959) : Method of Computation for Structural Dynamics, Journal of the ENGINEERING MECHANICS DIVISION, 67~94.
5. Chun-Woo Lee, Ju-Hee Lee, Bong-Jin Cha(2001) : Calculation model to describe the fishing gear behavior, Contributions on the Theory of Fishing Gears and Related Marine Systems, 2, 15~20