

유체역학적 해석을 위한 선망 어구 운동의 동적 시뮬레이션

김현영 · 이춘우 · 차봉진 · 김형석 · 권병국

부경대학교
(2002년 5월 3일)

Dynamic simulation of a purse seine net behavior for hydrodynamic analysis

Hyun-Young KIM, Chun-Woo LEE and Bong-Jin CHA, Hyung-Seok KIM
and Byeong-Guk KWON

Pukyong National University
(Received May 3, 2002)

Abstract

This study presents a dynamic simulation of a purse seine net behavior. Mathematical model suitable for purse seining, which is based on data from a series of previous simulations, various field experiments, is modeled as a set of mass-spring system. In this model, a number of meshes are approximated as one mass point, each of which connected to its neighbors by massless springs, the equations of motion are derived from considering internal force from the springs and external forces such as resistance and gravitation.

This simulation shows the quantitative state on every mass point of the net and purse line during the shooting and pursing phases. So it is possible that performance of a purse seine net be analyzed using various and evolving parameters such as the shooting speed, the hauling speed, the size or type of the sinker, float and twine, also the hanging ratio etc..

서 론

선망어업은 트롤과 같이 적극적인 어법이며 어업 생산에서 차지하는 비중도 큰 어업이다. 선망은 밀집된 어군을 그물로 둘러싸서 포위하고, 그물 끝자락의 링을 통과하는 줍줄을 이용하여 그물의 하부를 점차 죄어 어군을 가둔 후 어획하는 어법이다. 따라서 조업 전 과정에 걸친 어구의 형상과 조업 과정중의 경과 시간 등이 어획 성능에 큰 영향을 준다.

그러나 선망 어구는 조업 과정중에 어구의 형상이 크게 바뀌는 특성이 있고, 모든 조업단계에서

어구 요소가 3차원 공간에서 운동하는 성질 등으로 인하여 이론적인 연구는 거의 없었고, 수조에 서의 모형 실험과 실물 어구의 운동을 계측하여 어구 거동을 해석한 연구가 대부분이다. 최근의 연구들로서는 실물 어구를 이용하여 고등어 선망의 적정화를 망목의 크기 및 침강력 면에서 분석한 Misund *et al.*¹⁾의 연구가 있으며, 수조 등 모형을 이용하여 어구의 침강특성을 해석한 김 등²⁾⁻⁴⁾의 연구 및 모형을 이용하여 양망 과정중의 포위 용적의 변화를 연구한 Kim⁵⁾의 연구가 있다.

그러나 실제 해상 실험과 모형 실험도 그 자체의 어려움과 번거로움 등으로 다양한 실험을 하

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-1999-00183) 지원으로 수행되었음.

는 것이 매우 어렵다. 이러한 실험의 단점을 보완할 수 있는 것이 시뮬레이션에 의한 연구이다. 시뮬레이션을 하기 위해서는 대상 시스템에 대한 수학적모델이 먼저 기술되어야 하는데, 선망어구는 대형의 어구 시스템이며 대부분 망지라는 유연한 물체에 의해 구성되어 있어 외력에 대해 그 형상이 비선형적으로 변하므로 모델링이 어렵고, 이러한 이유로 이론적인 연구는 미진한 실정이다.

본 연구에서는 선망어구의 운동을 질량-스프링 모델을 이용하여 수학적으로 기술하고 선망의 조업 과정 중 그물의 투망, 침강, 조업 과정의 어구 운동을 시뮬레이션하였다. 특히, 시뮬레이션은 투망방법이나 투망속도, 휨줄을 죄는 속도 등 조업 조건과 망지의 특성 등을 달리했을 때 어구거동이 어떻게 달라지는지를 분석하였고, 이중조에 대한 어구운동도 시뮬레이션하였다.

재료 및 방법

1. 선망운동 모델링

선망어구의 운동을 좌표계로 정의하면 Fig. 1과 같다.

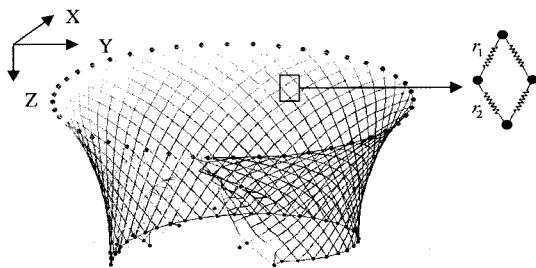


Fig. 1. A purse seine net in a coordinate system.

XY평면은 해수면과 동일한 평면이고, Z축은 어구의 수심을 나타낸다.

선망어구의 운동을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 하기 위해 본 연구에서는 질량-스프링 모델⁶⁾을 이용하였다. 선망어구 시스템을 이 모델에 적용시키면 어선 및 각종 속구들은 질점으로 근사되며, 그물의 그물코들도 질점으로 근사될 수 있다. 수학 모델식은 아래와 같다.

$$m_i d_i = f_i \dots\dots\dots(1)$$

m_i 은 질점 i 의 질량, d_i 는 질점 i 의 가속도이며, f_i 는 질점 i 에 작용하는 힘이다. 질점에 작용하는 힘은 내력(f_{int})과 외력(f_{ext})으로 구성된다. 여기서, 질점 간에 작용하는 내력은 질점을 연결하는 그물실 및 각종 로프의 탄성을 고려한 것으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_{int} = -\sum k_i \frac{r_i}{\|r_{ij}\|} (\|r_{ij}\| - l^0) \dots\dots\dots(2)$$

여기서, k_i 는 탄성계수이며, r_i 은 질점 i 의 위치벡터, $\|r_{ij}\|$ 은 위치벡터의 크기, l^0 는 질점간의 원래 길이이다.

선망어구에서 질점에 작용하는 주요한 외력은 중력, 부력 및 침강력과 저항 등을 들 수 있다. 이들 중 침자는 어구의 침강력을 결정하는 중요한 요소이다. 침자의 수중 무게에 해당되는 중력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_w = m_i g \dots\dots\dots(3)$$

여기서 g 는 중력가속도이다.

또한 질점에 작용하는 저항은 어구를 투망하거나 양망할 때 어구의 형상을 결정하는 중요한 요소이며, 특히 조류 등에 의한 어구의 형상을 결정하는 인자이다. 질점에 작용하는 저항식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_r = \frac{1}{2} C d_i \rho S_i v_i^2 \dots\dots\dots(4)$$

위의 식에서 $C d_i$ 는 질점 i 의 항력계수이며, ρ 는 해수의 밀도, S_i 는 질점 i 의 투영면적, v_i 는 질점 i 의 속도이다.

2. 망지의 구성 및 질점의 물리적 조건

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 현재 한국 제주근해에서 고등어를 대상으로 사용되는 선망 어구를 모델로 하여 시뮬레이션하였다. Fig. 2(a)의 그물은 뜰줄 길이가 962m이고 45동으로 구성되어 있다. 또한 그물에 포함된 매듭의 개수는 약 5억개 정도이다. 정확하고 상세한 시뮬레이션을 위해 어구를 가능한 많은 질점으로 분해하여 계산해야 한다. 그러나 실제 물리적으로 존재하는 수억 여개의 질점을 모델화하여 시뮬레이션한다는 것은 계산의 효율성 면이나 현재 PC의 여건 등으로 불

때 거의 불가능하다.

본 시뮬레이션에서는 어구 거동의 특성이 반영될 수 있도록 Fig. 2(b)와 같이 원래 그물을 7부분의 그물로 간략화 시켜 한 코의 크기가 30m인 코로 구성, 가로 45코, 세로 4~8코인 그물로 근사하였다. 또한 물리적인 특성을 고려한 시뮬레이션을 위해 각 부분별 망사 면적을 계산하여 해당하는 질점에 같은 면적이 작용되도록 하였다. 본 시뮬레이션에서 계산된 질점의 수는 총 775개이고, 부력이나 침강력 등은 Fig. 2(a)의 그물과 동일하게 하여 침자의 총무게는 8,000kg, 총부력은 10,000kg으로 하여 계산하였다.

그물의 저항계수는 어구가 침강하는 Z방향으로 운동할 때는 0.03으로 하였고, X,Y방향으로 운동할 때는 0.3으로 하였다⁷⁾.

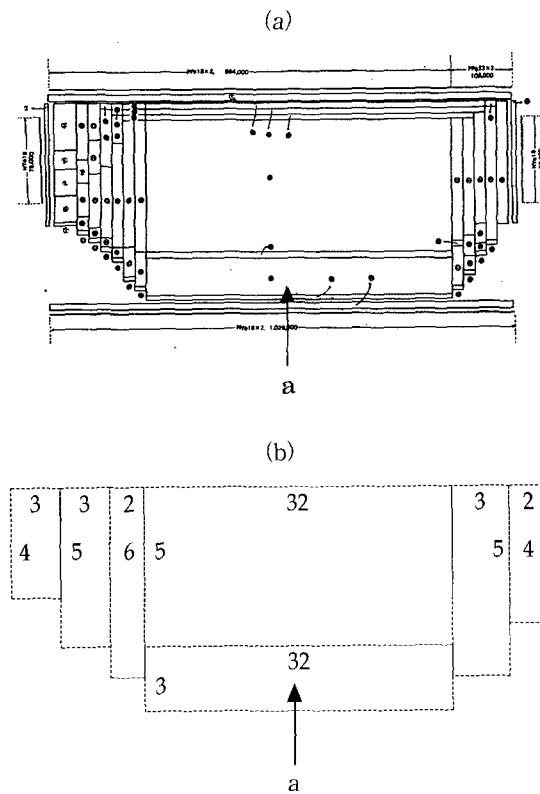


Fig. 2. A model simulated
 (a) An actual net,
 (b) A model approximated.
 (the numbers show the approximated mesh numbers in width and length).

Table 1. Specification for the purse seine(see Fig. 2(a))

Webbing section	Material (in numbers)	Mesh size (mm)	Stretched length (m)	Depth (meshes)
1	Td 260×150	60.6	1350	25
2	Td 260×150	75.75	154	25
3	Td 210×72	30.3	60	1000
4	Td 210×60	30.3	60	400
5	Td 210×51	30.3	60	1000
6	Td 210×45	30.3	60	2000
7	Td 210×36	30.3	60	700
8	Td 210×60	30.3	30	1000
9	Td 210×51	30.3	30	700
10	Td 210×45	30.3	30	2300
11	Td 210×36	30.3	30	1500
12	Td 210×51	30.3	60	500
13	Td 210×45	30.3	30	3900
14	Td 210×36	30.3	30	1600
15	Td 210×45	30.3	30	3500
16	Td 210×36	30.3	30	1500
17	Td 210×30	30.3	30	1000
18	Td 210×45	30.3	30	100
19	Td 210×36	30.3	30	700
20	Td 210×30	30.3	30	6100
21	Td 210×36	30.3	30	100
22	Td 210×36	30.3	30	500
23	Td 210×21	30.3	30	6100
24	Td 210×30	30.3	30	400
25	Td 210×36	30.3	30	300
26	Td 210×36	30.3	60	300
27	Td 210×30	30.3	60	200
28	Td 210×21	30.3	30	6600
29	Td 210×21	30.3	30	2700
30	Td 210×18	30.3	30	3000
31	Td 210×21	30.3	30	800
32	Td 210×36	60.6	30	500
33	Td 210×45	60.6	30	200
34	Td 210×36	30.3	990	100
35	Td 210×30	30.3	990	100
36	Td 210×21	30.3	960	100
37	Td 210×18	30.3	240	6800
38	Td 210×15	30.3	690	6800

Table 1. continued

Webbing section	Material (in numbers)	Mesh size (mm)	Stretched length (m)	Depth (meshes)
39	Td 210×21	60.6	930	200
40	Td 210×30	60.6	930	400
41	Td 210×36	60.6	930	300
42	Td 210×45	60.6	930	100
43	Td 210×51	60.6	930	100
44	Td 210×15	30.3	30	6400
45	Td 210×21	60.6	30	200
46	Td 210×30	60.6	30	400
47	Td 210×36	60.6	30	300
48	Td 210×45	60.6	30	100
49	Td 210×51	60.6	30	100
50	Td 210×21	30.3	30	6400
51	Td 210×51	60.6	60	100
52	Td 210×45	60.6	30	200
53	Td 210×36	60.6	30	3400
54	Td 210×36	60.6	30	2900
55	Td 210×45	60.6	30	500
56	Td 210×51	60.6	30	300
57	Td 210×45	60.6	30	2900
58	Td 260×180	75.75	210	25
59	Td 260×180	75.75	1350	25

3. 조업시 질점에 작용하는 힘

그물이 침강할 때 한 질점에 작용하는 힘은 Fig. 3처럼 간략하게 나타낼 수 있다.

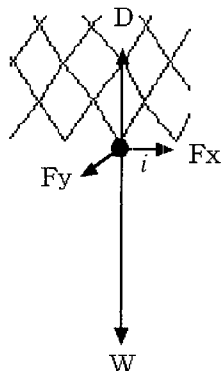


Fig. 3. Functioning forces on mass points while a net is sinking.

여기서 W 는 침강력이고 D 는 침강하는 반대 방향으로 작용하는 망지의 저항, F_x 는 X 축 방향의 항력, F_y 는 Y 축 방향의 항력이다. 또한 모든 질점에 작용하는 힘에는 각 질점의 내력도 포함되어 있다.

침줄을 질 때 질점에 작용하는 힘은 Fig. 4처럼 간략하게 나타낼 수 있다.

침줄을 죄는 과정에서 작용하는 외력은 침자의 침강력 W 와 저항 D 이다. 이 두 힘의 합력을 R_r 이라하면, 침줄에 작용하는 힘은 R_r 과 침줄을 죄는 힘 P 와 평형을 이루게 된다. 본 시뮬레이션에서는 원치에서 침줄을 감아들이는 속도를 입력하면 침줄의 길이가 줄어들면서 질점 i 의 위치가 변하게 된다.

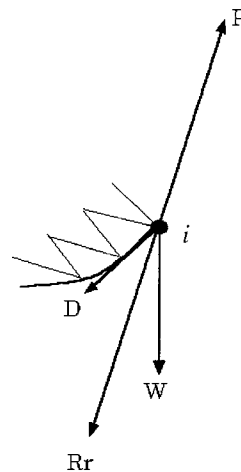


Fig. 4. Functioning forces on mass points while a net is pursing.

어구 모델의 수치계산은 안정되고 정확한 계산을 위해서 Newmark β 법을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 정상상태의 시뮬레이션

어구가 침강할 때에는 투망속도, 그물의 침강속도 및 조류의 영향 등 많은 변수가 작용하게 된다. 또한 그물이 침강하는 형상도 그물의 재질 등에 따라서 달라지게 된다. 본 연구에서는 조류가 일정할 경우 그물이 침강하는 모습을 Fig. 5에 나타내었다.

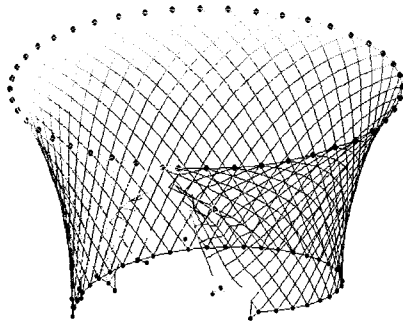


Fig. 5. Net shape during sinking.

Fig. 6은 조류가 일정할 경우 찰줄을 죄는 과정의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 6에 나타나 있듯이 찰줄을 쥘 때에는 찰줄을 잡아당기는 힘에 의해 배의 위치가 다르게 나타난다. 또한 찰줄을 죄는 속도에 따라 그물의 형상 및 포위용적도 달라지게 된다.

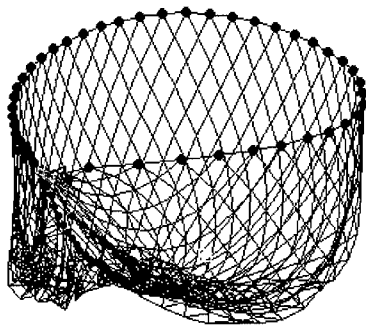


Fig. 6. Net shape during pursing.

2. 파라미터 변경시의 어구거동

1) 침강력 변화

Fig. 7은 Fig. 2의 설계도에서 “a”점으로 표시된 점의 침강속도를 침강력의 변화에 대해서 나타낸 것이다. Fig. 8은 그 때의 도달 수심을 나타낸 것이다. 침강력은 원래 어구가 150kg이고, “double”은 2배로 증가시켰을 때이다. Fig. 7에서 나타난 것과 같이 침강력을 2배로 했을 경우에 침강속도의 변화는 침강이 시작되는 순간의 침강속도가 높으며 점차 감소함을 알 수 있었다. 또한 Fig. 8은 침강시 침강력을 2배로 했을 경우, 같은

수심에 도달하는 시간이 훨씬 빠른 것을 알 수 있었으며, 이는 실제 모형실험 및 해상실험의 결과와 매우 유사하였다^{1), 7), 9)}.

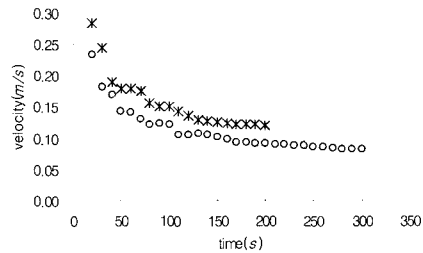


Fig. 7. The change in the sinking speed by changing sinking force.

(○:normal= normal sinking force(150kg),
*: double=double sinking force(300kg))

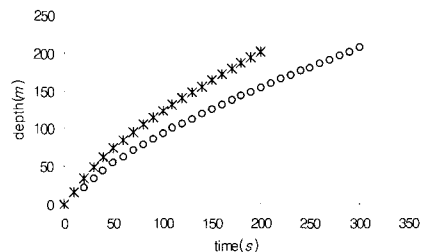


Fig. 8. The change in the potential depth range by changing sinking force.

(○:normal= normal sinking force(150kg),
*: double=double sinking force(300kg))

2) 조류의 영향에 따른 각 과정의 시뮬레이션

그물 침강시 조류의 영향에 따른 시뮬레이션은 Fig. 9과 Fig. 10에 나타내었다. 여기서 나타낸 것은 수심 50m 부분에 Y축과 동일한 방향으로 0.5m/s의 조류가 있을 경우를 나타낸 것이다. 침강시 뿐만 아니라 찰줄을 쥘 때에도 똑같이 조류의 영향에 의해 그물의 형상이 달라지는 것을 파악할 수 있다.

지금까지 선망 어구에 대한 연구는 이론 모델에 의한 연구, 모형 실험, 해상 실험 등 다양한 방법으로 진행되어 왔다. 본 연구에서는 선망어구의 시뮬레이션을 위해 질량-스프링 모델을 이용하여 수치계산하였다. 이를 통해 시뮬레이션된 선망 어구는 투망속도, 찰줄 죄는 속도, 조류의 영향 등

에 따라 매 단계마다 어구의 운동을 볼 수 있으며, 각 질점에 걸리는 장력을 알 수 있고, 다양한 파라미터에 대해 시뮬레이션이 가능하였다. 그러나 어구 전체를 계측하여 분석하거나 실물 어구의 운동 자료를 정량적으로 제시한 논문이 거의 없어서 정확한 비교 분석은 곤란했으나 시뮬레이션 결과가 정성적으로는 어구 형상을 잘 표현하는 것으로 판단되었다.

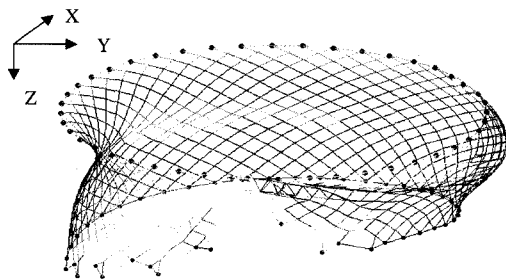


Fig. 9. The net shape during sinking by the effect of the currents of $0.5m/s$.

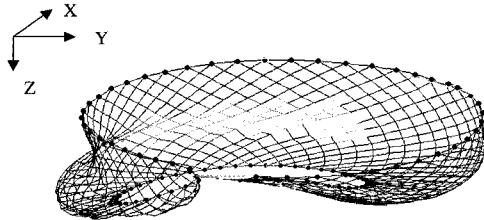


Fig. 10. The net shape during pursing by the effect of the currents of $0.5m/s$.

요 약

본 연구는 유체역학적 해석을 이용하여 선망 어구 운동을 동적으로 시뮬레이션하였다. 선망 어구는 조업 과정 중에 어구의 형상이 크게 바뀌는 특성이 있고, 모든 조업단계에서 어구요소가 3차 시스템이며 대부분 망지라는 유연한 물체에 의해

구성되어 있어 외력에 대해 그 형상이 비선형적으로 변하므로 모델링이 어렵다. 본 연구에서는 질량-스프링 모델을 이용하여 수학적으로 기술하였다. 선망의 조업 과정중 그물의 투망, 침강, 휨출을 죄는 과정의 어구운동을 시뮬레이션하였다.

참 고 문 헌

1. Misund, O. A. Dickson, W. and Beltestad, A. K.(1992) : Optimization of purse seines by large-meshed sections and low lead weight. Theoretical considerations, sinking speed measurements and fishing trials, Fisheries Research, 14, 305~317.
2. 김석중 · 今井健彦 · 박정식(1995) : 건착망의 운동특성(I), 한국어업기술학회지, 31(4), 362~371.
3. 김석중 · 박정식(1995) : 건착망의 운동특성(II), 한국어업기술학회지, 31(4), 372~378.
4. 김석중 · 박정식(1998) : 선망의 침강 저항 해석 - d/l 이 다른 모형망의 경우, 한국어업기술학회지, 34(3), 274~282.
5. Kim, Y. H.(2000) : Geometry of the Model Purse Seine in Relation to Enclosed Volume during Hauling Operation, J. Fish. Sci. 3(2), 156~162.
6. Provot, X.(1995) : Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior, Graphics Interface '95, 147~154.
7. Konagaya, T.(1971) : Studies on the Design of the Purse seine, Journal of Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie, 8(3), 209~293.
8. 金碩鍾 · 今井健彦 · 菊用浩行(1991) : 重みづけの異なる網地の沈降特性の解析, 日本水産學會誌, 58(6), 1037~1042.
9. Fridman(1986) : Calculations for fishing gear designs, FAO Fishing Manuals, 1986, 186~212.