

중층 트롤 시스템의 계측 및 운동 특성

이춘우 · 장충식* · 김민석 · 신현옥 · 김인진
부경대학교, *경상대학교
(1998년 7월 7일 접수)

Measurements of Midwater Trawl System and Dynamic Characteristics

Chun-Woo Lee, Choon-Sik JANG*, Min-Seok KIM, Hyeon Ok SHIN and
In-Jin KIM

Pukyong National University,
*Gyeongsang National University

(Received July 7, 1998)

Abstract

Towing performance of a midwater trawl system was examined aboard the training ship KAYA(2900ps) at the East Sea using the midwater trawl gear that had been designed and manufactured in accordance with the vessel. In this experiment, the trawl system data, the towing speed, the length and tension of the warp, net mouth height, and the depth of otter boards and net were measured and analyzed. The results are as follows:

1. In case of heaving in the warp with constant towing speed, the tension was suddenly increased and then again was reduced and after returned to the original steady state tension. At this time, net height was reduced a bit by ascension of ground rope, but returned to it's original value. In the case where the warp was paid out, the tension was suddenly decreased and after increased and then returned to the tension of the original state, and the net height was greatly increased instantly by the sinking of the ground rope and then returned to the steady state.

2. In the case of increased towing speed with constant warp length, the tension was increased, and reducing the net height, the gear depth was decreased. On the other hand, in the case where towing speed was reduced, the tension was reduced and the gear depth and net height was increased.

3. Otter boards show a swing motion in the scope of 5~10m continuously. Otter boards responded to the state change of the trawl system at first, and then the motion of the net appeared.

4. The depth of net center was about 20m deeper than that of the otter boards, it shows about 0.4 times the warp length at the 4knots towing speed.

*본 연구는 1996~1997년도 농림수산특정과제 연구지원에 의한 연구결과의 일부임.

서 론

트롤어업은 현재 세계 각국에서 행해지고 있는 어업중에서 가장 능동적이고 규모가 큰 어업으로서 우리나라의 경우도 원양에서 180여척, 근해에서 100여척이 조업하여 어선어업 총생산량의 20% 정도를 차지하고 있는 중요한 어업이다. 트롤어업은 1980년대 초반까지만 하여도 저층의 어업 자원이 풍부하였기 때문에 저층 트롤이 주를 이루었으나 80년대 중반부터는 저층의 어업자원 감소가 날로 심각해지면서 중층의 어업자원을 어획 대상으로 하는 중층 트롤이 북태평양 어장을 중심으로 하여 서서히 시작되어 80년대 말부터는 우리나라 근해에서도 이루어지기 시작하였다.

중층에 분포하는 어군은 감각기간이 매우 발달하여 민첩할 뿐만 아니라 분포수심도 다양하므로 이들을 효과적으로 어획하기 위해서는 어구의 예망과정에 고도의 제어기술이 필요하나, 지금까지의 조업은 주로 경험 있는 항해사나 선장에 의해 수동식방법으로 행해져왔다. 이러한 조업방법은 조업자의 경험과 숙련도에 따라 어획성능에 편차가 심하고, 어구의 조작도 민속하게 할 수 없을 뿐만 아니라 인력을 많이 사용하게 되므로 경영합리화를 꾀하기도 어렵다.

중층 트롤의 예망과정을 자동화하기 위해서는 예망과정을 시스템적으로 분석하여 제어대상의 수학적 구조를 파악하고 시스템의 특성에 맞는 제어계를 설계해야 한다. 그러나 트롤 시스템은 복잡하여 수학적 모델 기술이 어렵고, 모델이 기술되어도 비선형의 형태로 기술되므로 아직까지 정확히 해석되어 있지 않다. 지금까지의 연구는 주로 어구의 운동을 실물어구(李 등 1986, 1987, 胡 등, 1991, 三浦 등 1991, 張 등 1994)와 모형어구(藤石 1990)를 이용하여 계측 분석한 연구가 대부분을 차지한다. 예망과정 제어에 대해서는 실물 또는 모형어구를 이용한 연구는 거의 없고 간략화된 트롤시스템 모델을 대상으로 퍼지이론을 이용, 시뮬레이션을 통하여 그 효과를 분석한 연구(이 1994, Lee 1995)가 있다. 그러나 이들 연구의 대부분은 중층 트롤 시스템의 정적인 특성의 계측과 분석에 관한 것이고, 예망 시스템의 제어를 목적

으로 동적인 운동특성을 이론적으로나 실험적으로 밝혀낸 연구는 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 부경대학교 실습선 가야호의 기관마력에 맞도록 설계·제작한 중층 트롤을 써서 중층 트롤 시스템의 제어입력으로서 끌줄 길이와 예망 속도를 변화시킬 때 어구의 동적인 운동특성을 계측하여 분석한 것으로, 어구를 제어하는 시스템 설계에 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였을 뿐만 아니라 어구의 설계기준 도출에 대한 자료로서도 활용할 수 있도록 하였다.

재료 및 방법

1. 어구 및 계측장치

어구는 부경대학교 실습선 가야호의 기관마력(정격출력 : 2,900PS)에 맞도록 어망회사에 의뢰하여 설계·제작하였고, 설계도는 Fig. 1과 같으며, 본 실험에 사용한 가야호의 제원은 Table 1과 같다. 실험기간은 1996년 5월 25일~8월 28일 이었고, 해역은 수심이 200m 이상되는 동해와 남해의 일원이었다.

중층 트롤 시스템의 상태를 나타내는 물리량으로서 예망 속도, 끌줄의 장력과 길이, 전개판의 수심, 그물의 수심과 망고 등이다. 트롤선의 예망 속도는 도플러 로그의 신호를 A/D변환하여 얻었고, 끌줄의 장력과 길이는 트롤 윈치(RAPP HYDEMA A/S)를 제어하는 제어기(Programmable Controller)로부터 이들 상태량을 출력시켜 RS-232C를 통하여 PC에 입력하여 분석하였다.

전개판과 그물의 예망 수심과 망고는 자기식 수온수심계(0~200m, Minilog, Canada)센서를 이용하였다. 자기식 수온수심계는 컴퓨터와 연결하여 계측 시작시간과 계측 간격을 지정하여 초기화 시켜주면 센서에 내장된 메모리에 시간, 수온, 수심이 기록된다. 센서는 투망하기 전에 초기화시켜

Table 1. Principal particulars of trawler

Length overall	81.7 m	Power of main engine	2900 PS
Extreme breadth	13.2 m	Mean draft	5.2 m
Moulded Depth	8.0 m	Weight	2910 ton
Gross tonnage	1737 ton		

중층 트롤 시스템의 제작 및 운동 특성

S.B.R. ϕ 22 m/m
S.R: N.D.B.R. ϕ 32 m/m

LL: N.D.B.R. ϕ 32m/m & ϕ 34m/m

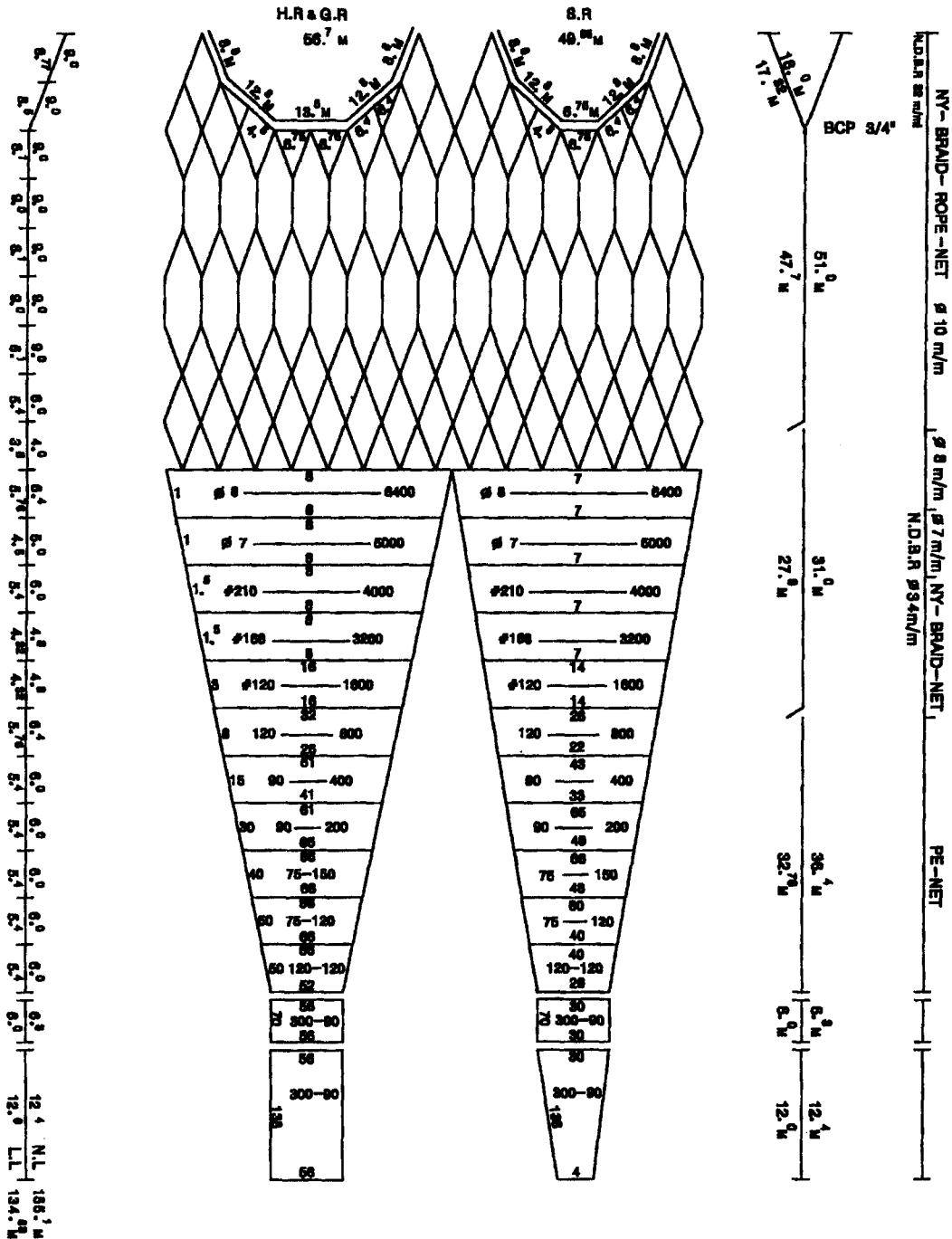


Fig. 1. Developed drawing of the midwater trawl net used in this experiment.

어구에 매달고, 양망 후 센서를 회수하여 컴퓨터에 연결하여 센서에 기록된 자료를 읽어들이었다. 센서는 좌우 전개판에 각각 1개씩, 그물 뜰줄과 발줄의 중앙부에 각각 1개씩, 끝자루에 1개를 매달아서 전개판, 그물 중심의 수심 및 망고를 측정할 수 있도록 하였는데, 그물 중심의 수심은 뜰줄과 발줄의 수심을 평균하여 얻었고, 망고는 뜰줄과 발줄의 수심 차이로부터 구하였다.

2. 실험방법

그물은 투망하기 전에 양 전개판, 뜰줄과 발줄의 중앙부 및 끝자루 끝부분에 자기식 수온수심계를 1개씩 달고 끝자루부터 투망하여 전개판이 나가면 끌줄 길이를 350m, 예망속도를 4노트로 고정시키고 어구가 안정되도록 30분 동안 예망하였다. 본 실험에서는 트롤의 예망 수심 제어를 위한 제어입력으로서 끌줄 길이와 예망속도를 변경하는 방법으로 트롤 시스템의 응답을 조사하였다.

끌줄 길이 변경에 대한 트롤 시스템의 응답성능 조사에서는 피치를 고정시켜서 예망속도를 일정하게 유지하면서 기준 끌줄 길이 350m에서 100m씩 감거나 풀어줄 때의 트롤 시스템의 상태를 계측 분석하였다. 끌줄을 풀어주거나 감을 때는 트롤 윈치가 허용하는 최대의 속도로 하였는데, 풀어줄 때는 90m/min이고, 감을 때는 60m/min였고, 끌줄의 길이 변경은 30분 간격으로 하였다.

예망속도 변경에 대한 트롤 시스템의 응답성능 조사에서는 끌줄의 길이를 350m로 일정하게 유지한 후 예망속도를 3노트에서 5노트까지 0.5노트씩 증가시킬 때와 감소시킬 때의 트롤 시스템의 상태를 계측 분석하였다. 속도의 변경은 피치를 변경시키는 방법으로 하였는데, 0.5노트의 증감속량 만큼의 피치를 미리 정해 놓고 변속시킬 때는 순간적으로 피치를 변경하였고, 역시 속도의 변경도 30분 간격으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 끌줄의 길이 변경에 대한 트롤 시스템의 응답

끌줄 길이의 변경에 대하여 중층 트롤 시스템의

응답을 Fig. 2, 3에 나타내었다. Fig. 2는 예망 속도를 4노트로 고정하고 끌줄 길이를 350m에서 90m/min 속도로 100m를 풀어주었을 때의 운동특성을 끌줄의 길이, 예망 속도, 예망 장력, 망고 및 전개판과 그물의 예망 수심으로 나타낸 것이고, Fig. 3은 끌줄 길이를 350m에서 60m/min 속도로 100m를 감아들일 때의 운동특성을 끌줄의 길이, 예망 속도, 예망 장력, 망고 및 전개판과 그물의 예망 수심으로 나타낸 것이다.

끌줄에 걸리는 예망 장력은 예망 속도를 4노트로 고정하고 끌줄 길이를 350m로 하여 예망할 때에는 12ton 정도였고, 끌줄을 풀어주는 순간에는 4ton 정도로 급격히 감소하였다가 100m가 다 풀려나가는 순간 17ton 정도로 급격히 증가한 후 다시 감소하여 원상태인 12ton 정도에서 안정되었다. 끌줄을 감아들일 때에는 17ton 정도로 급격히 증가하였다가 100m가 다 감기는 순간 5ton 정도로 급격히 떨어진 후에 다시 증가하여 원래의

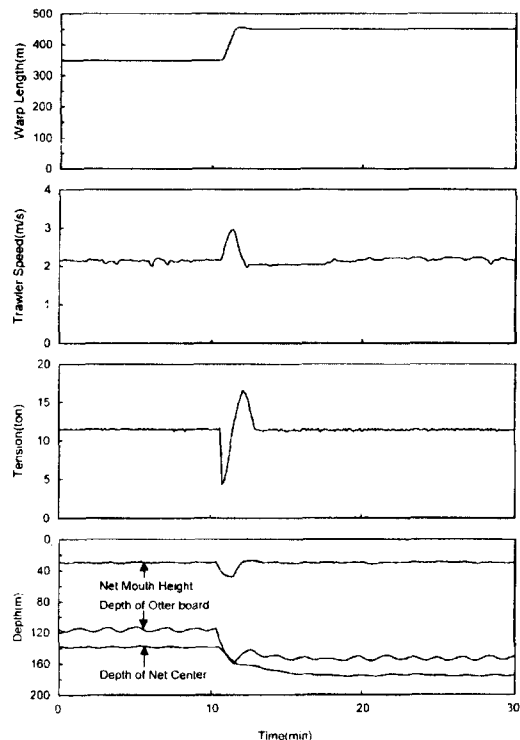


Fig. 2. Trawl system state variables in paying out the warp.

12ton 정도에서 안정되었다.

이같이 끌줄을 고속으로 풀어주다가 갑자기 정지하거나 갑자기 고속으로 감아들이면 장력이 급격히 증가하여 끌줄이 끊어질 염려가 있으므로 실제 조업시에는 고속으로 풀어주다가도 줄이 거의 다 나가면 서서히 풀어주어야 하며, 감아들일 때는 서서히 감아들이다가 속도를 증가시켜 감은 후에 다시 서서히 감아서 장력이 급격히 상승하는 것을 방지하여야 한다.

4노트의 예망 속도에서 정상상태의 장력은 12톤 정도로 추정되며, 트롤선의 예망 속도는 피치를 고정하여 놓았기 때문에 일정한 예망력을 내고 있지만 장력의 증감에 민감하게 반응하여 장력이 감소되면 속도가 증가되고, 장력이 증가되면 속도가 감소하는 현상을 뚜렷하게 보여주고 있다.

망고는 끌줄 길이를 350m로 하여 예망할 때에 30m 정도를 유지하다가 끌줄을 풀어주는 순간 55m 정도까지 급격히 커졌다가 100m가 다 풀려나가는 순간부터 다시 낮아져 30m 정도를 유지하

면서 안정되었으나, 끌줄을 감아들이는 순간에는 25m 정도로 약간 낮아졌다가 100m가 다 감기는 순간 다시 높아져 30m로 된 후에는 안정되었다. 이같이 망고가 끌줄을 풀어줄 때 순간적으로 크게 증가하는 원인은 끌줄을 풀어주면 끌줄의 장력이 크게 떨어지고 그에 따라 발줄이 크게 침강하기 때문으로 끌줄의 장력이 원상태로 돌아오면 발줄의 침강도 멈추게 되므로 망고도 원상태로 돌아오는 것으로 생각된다. 반대로 끌줄을 감을 때는 발줄이 당겨져 올라오므로 망고가 약간 감소하는 현상이 나타난다.

전개판의 예망 수심은 예망 속도와 끌줄 길이를 일정하게 하여도 5~10m 정도의 범위에서 계속하여 상하진동을 하였고, 예망 속도를 4노트로 고정하고 끌줄 길이를 350m로 하여 예망할 때에는 120m 정도의 깊이를 유지하다가 끌줄을 풀어주는 순간 160m 정도까지 급격히 떨어지는 오버슈트(over shoot)가 나타났고, 100m가 다 풀려나가는 순간에 다시 약간 부상하여 155m 정도에서 안정되었으나, 끌줄을 감아들이는 경우에는 오버슈트가 거의 없이 서서히 얕아져 100m를 다 감아들이고 난 후 5분 정도 지나서야 80m 정도로 부상한 후에 안정되었다.

이같이 전개판의 예망 수심이 정상상태로 예망 중인데도 상하로 진동하는 것은 선박의 피칭의 영향뿐만 아니라 전개판에 작용하는 외력인 양력, 항력, 끌줄 쪽의 장력과 후릿줄 쪽의 장력 등이 균형을 이루지 못하였기 때문인 것으로 생각되며, 전개판의 간격을 계측할 수 있는 센서나 ITI 관측에 의하면 전개판은 수평적으로도 비슷한 진폭으로 진동하고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 전개판의 이러한 상하 좌우 진동은 어군을 구집시키기 보다는 분산시키는 역할을 할 것이므로 이에 대한 방지책을 강구하여야만 할 것이다. 또한, 전개판의 예망 수심은 끌줄 길이에 비례하여 변한다는 것을 알 수 있었는데, 그 비는 약 0.34배 정도였다.

그물 중심의 예망 수심은 전개판과는 달리 상하진동도 거의 없고 예망 수심은 전개판보다 20m 정도가 더 깊었으며, 예망 속도를 4노트로 하고 끌줄 길이를 350m로 하여 예망할 때에는 140m 정도의 깊이를 유지하다가 끌줄을 풀어주면 서서히 깊

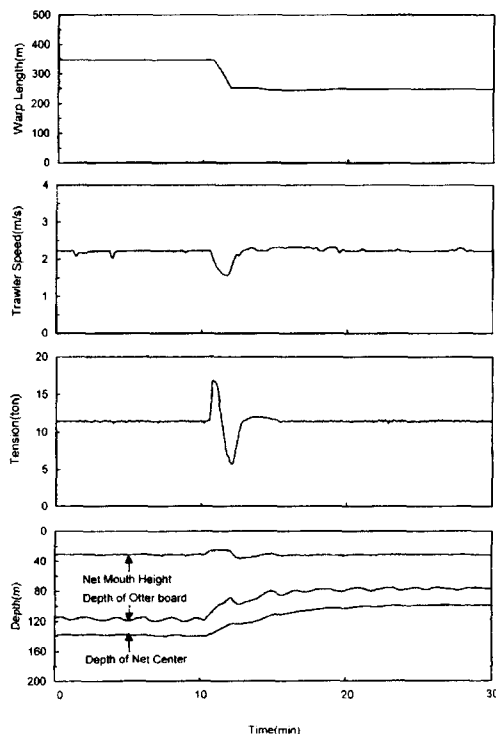


Fig. 3. Trawl system state variables in heaving in the warp.

어져 100m가 다 풀려나간 후 10분 정도가 지나서야 180m정도에서 안정을 이루었으며, 끌줄을 감아들이는 경우에는 서서히 알아져 100m가 다 감기고난 후 10분 정도가 지나서야 수심 100m정도에서 안정되었다. 이처럼 그물 중심의 예망 수심은 끌줄 길이에 비례하여 변한다는 것을 알 수 있었는데, 그 비는 약 0.4배 정도였다.

그물의 예망 수심이 전개판보다 20m정도 깊으므로 전개판이나 후릿줄에 의한 어군의 구집역할은 부분적일 것으로 판단되었다. 또 그물은 전개판보다 유체저항과 가상질량이 훨씬 크기 때문에 예망 중 진동이 크게 억제되었고, 끌줄의 길이 변경 후 정상상태까지 정착하는데 걸리는 시간이 전개판보다도 몇 배나 더 걸리는 것을 알 수 있었다.

2. 예망 속도의 변화에 따른 어구의 운동특성

예망 속도 변경에 대하여 중층 트롤 시스템의

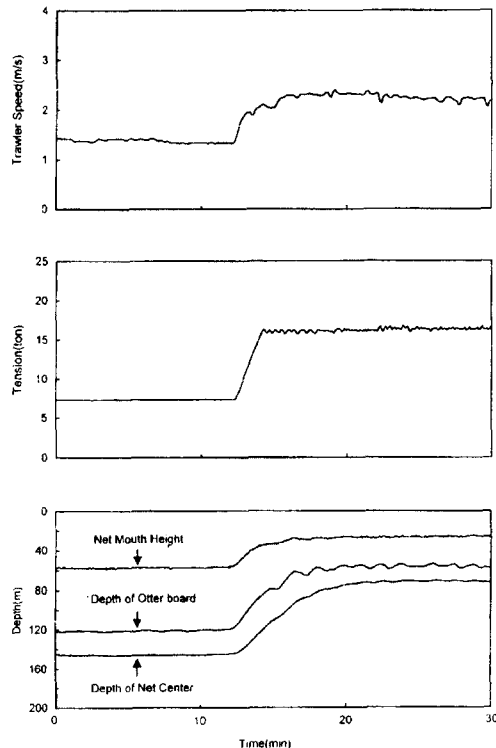


Fig. 4. Trawl system state variables in increasing the towing speed.

응답을 Fig. 4, 5에 나타내었다. Fig. 4는 끌줄 길이를 350m로 고정하고, 예망 속도를 3노트에서 4.5노트로 증가시켰을 때의 운동특성을 예망 속도, 예망 장력, 망고 및 전개판과 그물의 예망 수심으로 나타낸 것이고, Fig. 5는 예망 속도를 4노트에서 3노트로 감소시켰을 때의 운동특성을 예망 속도, 예망 장력, 망고 및 전개판과 그물의 예망 수심으로 나타낸 것이다.

끌줄에 걸리는 예망 장력은 Fig. 4와 같이 끌줄 길이를 350m로 고정하고 예망 속도를 3노트로 하여 예망할 때에는 8ton정도가 걸리다가 예망 속도를 4.5노트로 증속하는 순간 16ton 정도로 급격히 증가하였다. 망고는 끌줄 길이를 350m로 고정하고 예망 속도를 3노트로 예망할 때에는 55m정도를 유지하다가 예망 속도를 4.5노트로 증속시키면 25m정도로 급격히 작아진 후에 안정되었고, 전개판과 그물의 수심은 크게 알아졌다.

예망 속도를 4노트에서 3노트로 감속하면 예망

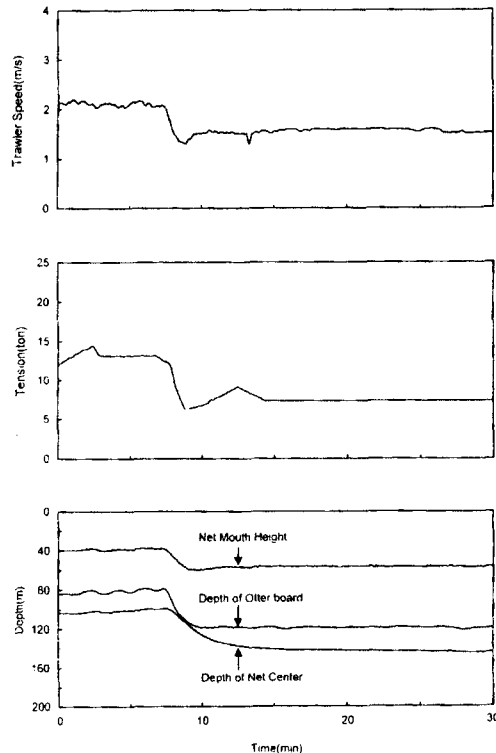


Fig. 5. Trawl system state variables in decreasing the towing speed.

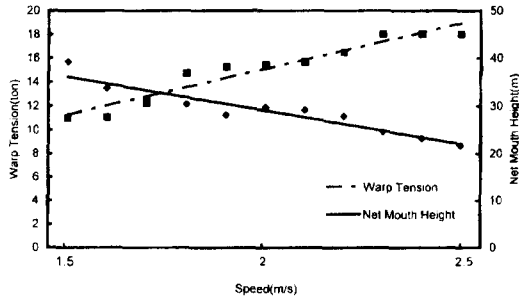


Fig. 6. Relationship between the height of net mouth and tension according to towing speed.

장력은 Fig. 5와 같이 15ton 정도에서 8ton 정도로 감소된 후 안정된 상태를 유지하였다. 망고는 끌줄 길이를 350m로 고정하고 예망 속도를 4노트로 예망할 때에는 35m 정도를 유지하다가 예망 속도를 3노트로 감속시키면 55m 정도로 급격히 커진 후에 안정되었고, 전개판과 그물의 수심은 크게 증가하였다.

위의 경우, 비슷한 예망 속도에서도 장력과 망고가 약간씩 다르게 나타나는 것은 조류와 해류의 방향과 세기 및 예망 수심과 방향 등에 따라 어구와 어선의 상대속도가 달라지기 때문으로 복잡한 해황을 가진 현장실험의 어려움으로 생각된다.

또한 전개판과 그물의 예망 수심은 예망 속도의 변화에 따라 매우 민감하게 변하는 것을 알 수 있는데, 변화정도는 1노트를 증속 또는 감속시킬 때 수심은 1.5배 정도 부상 또는 침하하였다. 이러한 원인은 속도가 증가될수록 유체저항은 커지게 되나, 어구의 수중무게는 일정하기 때문에 이 두 힘이 균형을 이루는 점이 변경되기 때문으로 생각된다(이 1994, Lee 1995).

또한 Fig. 2, 3과 Fig. 4, 5를 비교해보면 트롤 그물의 수심을 제어할 수 있는 입력 중에서 끌줄의 길이 변경에 의한 제어보다도, 속도변경에 의한 제어의 경우에서 그물의 위치가 훨씬 빠르게 새로운 위치에 도달하여 정착하는 것을 알 수 있다. 따라서 신속하게 어구의 수심을 제어해야 할 경우에는 끌줄 길이만 조정하는 것보다도 예망 속도도 같이 조절하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

예망 속도에 따라 예망 장력의 변화를 나타내보면 Fig. 6과 같다. 예망 속도가 증가하면 망고는 줄

어들과 예망 장력은 증가되는 경향을 보여주고 있다. 이러한 현상은 일반적으로 알려진 사항 중의 하나이나, 근본적인 원인으로서는 예망 속도가 증가하면 어구의 저항이 증가되어 수평방향으로 작용하는 분력은 크게 증가되나 그물의 부력과 침강력은 변화가 없으므로 그물을 수직으로 전개시킬 수 있는 수직 전개력이 상대적으로 약해지기 때문으로 판단되나, 추후 상세한 조사가 필요하다.

요 약

중층 트롤 어구의 동적인 운동특성을 파악하기 위하여 실습선 가야호의 기관마력(정격출력: 2900PS)에 맞도록 설계·제작한 어구를 가지고 동해에서 현장실험을 실시하였다. 실험에서는 중층 트롤 그물을 예망하면서 끌줄의 길이와 예망 속도를 변화시켰을 때 끌줄에 걸리는 장력, 망고, 전개판과 그물의 예망 수심 등을 계측·분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 예망 속도를 일정히 유지하면서 끌줄을 감아들일 경우에는 예망 장력은 급격히 증가하였다가 다시 감소한 후 원래의 정상상태 장력으로 돌아갔고, 이때 망고는 발줄의 상승에 의해 약간 감소했다가 정상상태로 되었다. 끌줄을 풀어줄 경우에는 예망 장력이 급격히 감소하였다가 증가한 후 원래의 정상상태 장력으로 돌아갔고, 망고는 발줄의 침강에 의해서 순간적으로 크게 증가했다가 정상상태로 돌아갔다.
2. 끌줄의 길이를 일정하게 유지하면서 예망 속도를 증가시켰을 경우에는 끌줄의 장력은 크게 증가하였고, 망고가 줄어들면서 어구는 부상하였다. 반대로 예망 속도를 감소시켰을 경우에는 끌줄의 장력이 감소하고, 망고가 커지면서 어구는 침하하였다.
3. 예망 중 전개판은 5~10m 범위에서 계속하여 상하진동을 하였으며 트롤 시스템의 상태변화에 먼저 반응하고 그 뒤에 그물의 운동이 나타났다.
4. 그물 중심의 예망 수심은 전개판보다도 20m 정도가 깊었고, 4노트의 예망 속도에서 그물의 예망 수심은 끌줄 길이의 0.4배 정도였다.

참고문헌

- 李秉錡 · 崔宗和 · 朴相吉 · 張鎬營(1986) : 韓國近海에 있어서의 中層 트로울의 研究 -I, 展開版의 動作 狀態와 展開性能. 漁業技術 22(4), 41 - 48.
- 李秉錡 · 金鎭乾 · 崔宗和 · 張鎬瑩(1987) : 韓國 近海에 있어서의 中層 트로울의 研究 -IV, 漁具의 流體抵抗과 展開板의 性能. 漁業技術 23(1), 6 - 10.
- 이춘우(1994) : 간략화된 트롤시스템의 퍼지제어. 漁業技術 30(3), 189 - 198.
- 張忠植 · 李秉錡(1996) : 쌍끌이 中層트롤漁法의 研究 -IV, 實物漁具의 網口形狀 및 예망깊이에 관하여. 漁業技術 32(1), 7 - 15.
- Lee Chun · Woo(1995) : Depth control of a midwater trawl gear using fuzzy logic, Fisheries Research, 24, 311 - 320.
- 藤石昭生(1990) : 高速曳網用超大目中層트롤網의 模型實驗, 東水研報, 56(5), 743 - 747.
- 三浦汀介 · 清水普 · 西山作藏(1991) : 中層트롤· 시스템における網とオッターボードの運動解析. 日水誌 57(1), 57 - 62.
- 胡 夫祥 · 松田 皎(1991) : 中層트롤시스템의 靜的特性의 解析法, 東水研報, 57(4), 661 - 666.