

# 중층 트롤 시스템의 운동 특성 계측과 수심 제어

이 춘 우/부경대학교 수산과학대학 교수

## 1. 머리말

트롤은 어군이 있는 수층으로 그물을 예망하여 어군을 자루 그물에 몰아넣어 어획하는 어법으로, 그물의 예망수층이 해저층이어서 땅고기를 주 대상으로 하는 경우는 저층 트롤이라 하고, 해저 바닥으로 부터 떨어진 수층의 뜬고기를 주 대상으로 하는 경우는 중층 트롤이라 한다.

우리나라에서는 1980년대 초반까지만 하여도 저층 트롤이 주를 이루었으나, 1980년대 중반부터는 저층 자원이 감소하여 중층 자원을 이용하기 위한 중층 트롤어법이 시작되었고, 현재는 대부분의 트롤이 중층조업을 하고 있다.

중층 트롤의 주 대상이 되는 중층 어류는 감각기관이 발달되어 있어서 유영행동도 민첩하고, 서식 수층의 변화도 크기 때문에, 어법적으로는 어군이 있는 수층으로 그물을 정확히 예망하지 않으면 어획이 어려우므로, 중층 트롤은 고도화된 어구 제어 기술이 필요한 어업이다.

중층 트롤 어구가 목표 어군의 위치에 추종하면서 자동으로 예망 되는 조업 시스템을 구축하기 위해서는 어구의 동적인 운동 특성을 명확히 파악하고, 트롤 시스템의 동특성을 고려한 자동 제어 시스템이 개발되어야 할 것이다. 그러나 중층 트롤 어구는 어획의 대소나

해양환경적인 요인에 의해서 어구의 저항이나 무게 등이 달라지는 시변(時變)적인 특성이 있고, 또 어구를 중층에서 운용할 경우에는 어구를 불안정하게 만드는 진동 등이 쉽게 발생할 수 있어서 어구를 안정되고 정확하게 제어하기는 쉽지 않다.

중층 트롤 어구에 대해서는 모형 실험과 실물 시험을 통하여 어구의 성능을 파악하고 설계를 개선한 연구와 수중에서 어구의 운동을 계측하고 분석한 연구가 있으나, 어구가 대형이고, 수중에서의 어구 동작을 적절하게 계측할 수 있는 장비와 기술의 제약으로 인하여 어구의 예망 상태를 정확히 계측 분석하고, 특히 어구의 예망 상태와 동특성을 제어 시스템 설계의 관점에서 분석한 연구는 많지 않다.

본 보고에서는 중층 트롤 어구의 운동 특성을 파악하고, 어구의 수심을 자동적으로 제어할 수 있는 자동 예망 시스템 개발의 기초자료를 얻기 위해서, 실물 어구를 이용한 해상 시험을 통하여 어구의 운동 상태를 계측 분석하였고, 또한 자동 예망 시스템 개발의 가능성을 검토하였다.

## 2. 트롤 시스템의 상태 계측

트롤 시스템은 트롤선, 트롤 윈치 및 어구로

구성되고, 이 트롤 시스템을 나타낼 수 있는 상태량은 트롤선의 속도, 끌줄의 길이와 속도, 끌줄의 장력, 전개판 수심 및 간격, 그물의 수심과 망고 등이다. 본 시험에서는 트롤 시스템의 상태를 컴퓨터를 이용하여 계측하였다.

트롤선의 속도는 도플러 로그로부터 출력되는 아날로그량을 A/D변환하여 얻었다. 끌줄의 길이, 속도 및 장력은 트롤윈치(RAPP HYDEMA A/S)를 제어하는 제어기(Programmable Controller)에서 출력되는 이들 상태량을 RS-232C를 통하여 컴퓨터에 입력하였다.

다음으로 트롤 어구의 상태량의 계측에는 실시간(Real time)계측 방법인 ITI(Integrated Trawl Instrumentation)등의 초음파 계측기를 이용하는 방법과 시간에 따라 수심과 수온을 계측하여 메모리에 기록하여 두었다가 나중에 읽는 자기식(自記式)압력 온도 센서(미니로그, Minilog)를 이용하는 방법이 있다.

본 시험에서는 주로 미니로그로 부터 계측된 자료를 이용하여 어구의 운동을 분석하였다. 미니로그는 컴퓨터와 연결하여 계측 시작 시간과 계측 간격을 지정하여 초기화 시켜주면, 미니로그에 내장된 메모리에 시간, 수심 및 수온이 기록된다. 투망하기 전에 센서를 초기화시켜 어구에 매단 후 투망하고, 양망후 센서를 회수하여 컴퓨터에 연결하여 센서에 기록된 자료를 읽어들인다.

미니로그는 5개를 사용하여 좌우 전개판에 각각 1개씩 부착하여 전개판의 수심과, 그물의 수심 및 망고를 계측할 수 있도록 하였다.

해상시험에서는 부경대학교 실습선 가야호를 사용하였고, 가야호의 제원은 표1에 나타내었다. 시험을 위해서 제작된 중층 트롤 어구의 설계도는 그림 1과 같다.

시험에서는 투망 후 예망속도를 일정히 유지하면서 끌줄의 길이를 변화 시켰을 때와, 끌줄의 길이는 일정하게 유지하고 예망속도를

표 1. 가야호의 주요 제원

길이	81.7m	기관출력	2900hp
폭	13.2m	평균홀수	5m
깊이	8.0m	총 톤 수	1,737ton

변화시켰을 때에 전개판과 그물의 수심 및 망고의 변화 등을 측정하였다. 끌줄의 길이를 변화시킬 때에는 트롤 윈치가 허용하는 최대의 속도로 하였는데 끌줄을 풀어 줄 때에는 90m/min이고, 끌줄을 감아 올릴 때에는 60m/min이었다. 예망속도 변경시에는 3노트에서 5노트까지 1노트 단위로 변화시키면서 어구의 상태를 측정하였다.

### 3. 트롤시스템의 운동 특성

끌줄의 길이를 변경시켰을 때 트롤 시스템의 운동 상태를 계측한 예를 그림 2와 3에 나타내었다. 그림 2는 끌줄 길이를 350m로 예망하다가 100m를 더 풀어주어 450m로 변경하였을 때의 트롤 시스템의 상태 변화를 나타낸 것이고, 그림 3은 반대로 끌줄 길이를 350m로 예망하다가 100m를 감아들여서 250m로 변경하였을 때의 상태 변화를 나타낸 것이다.

끌줄을 풀어줄 때의 트롤 시스템의 상태 변화로는, 끌줄의 장력이 끌줄을 풀어줄 때와 동시에 급격히 감소하기 시작하고, 끌줄이 다 풀려나가면 다시 증가되기 시작하여 정상상태 장력보다도 커졌다가, 다시 감소하여 정상상태의 장력으로 돌아온다. 선속은 끌줄의 장력이 감소하므로 순간적으로 빨라졌다가 정상상태로 돌아온다. 어구의 상태변화로는 전개판이 유체저항이 작으므로 그물보다도 먼저 침하하고 그 뒤를 따라서 그물이 침하하며, 그물은 발줄이 먼저 침하하기 시작하므로 망고가 순간적으로 커졌다가 정상상태로 돌아온다.

H. R. : G. R. : S. B. R. #22 m/m  
 S. R. : N. D. B. R. #32 m/m

L. L. : N. D. B. R. #32 m/m & N. D. B. R. #34 m/m

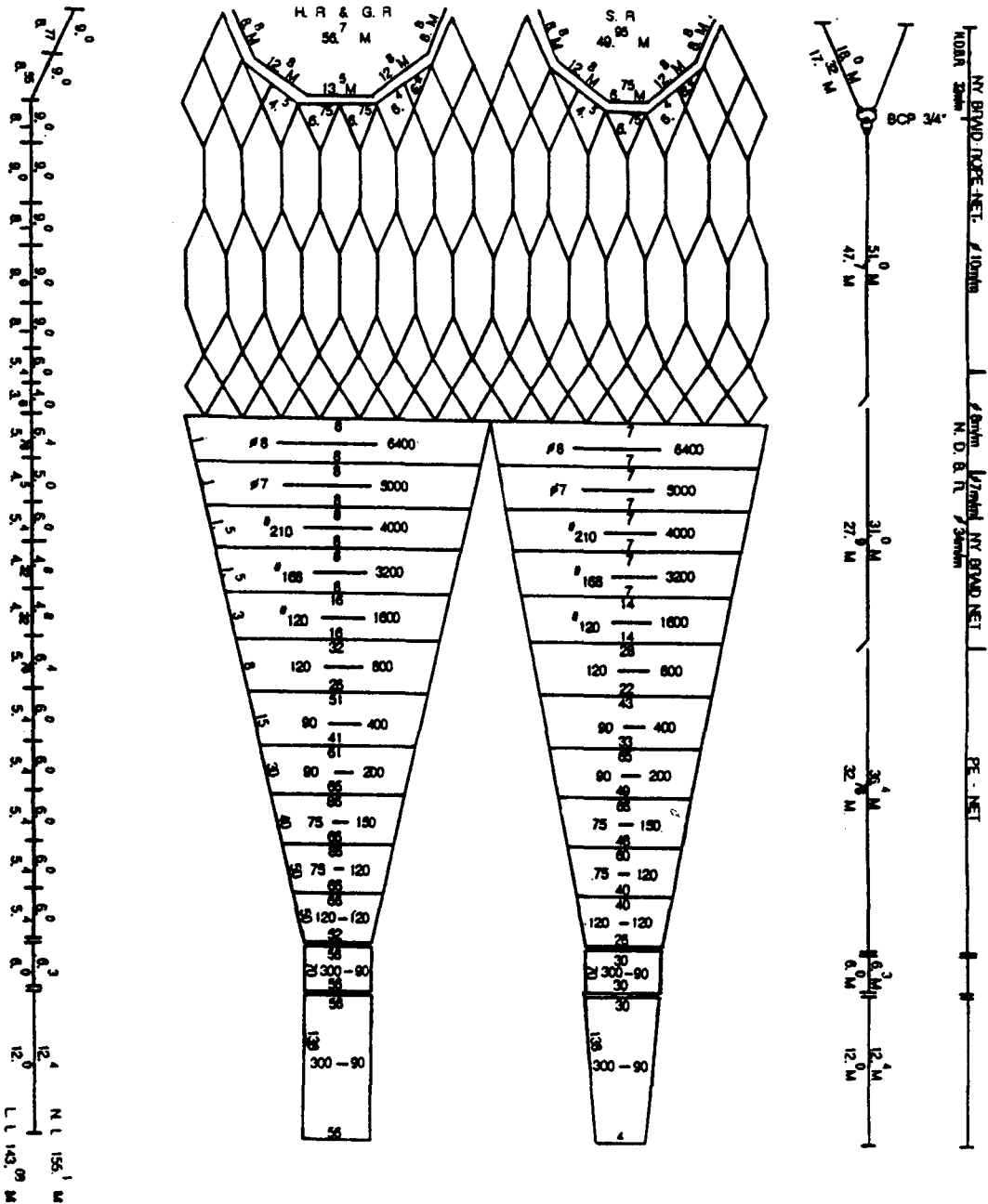


그림 1. 중층 트롤 어구의 설계도

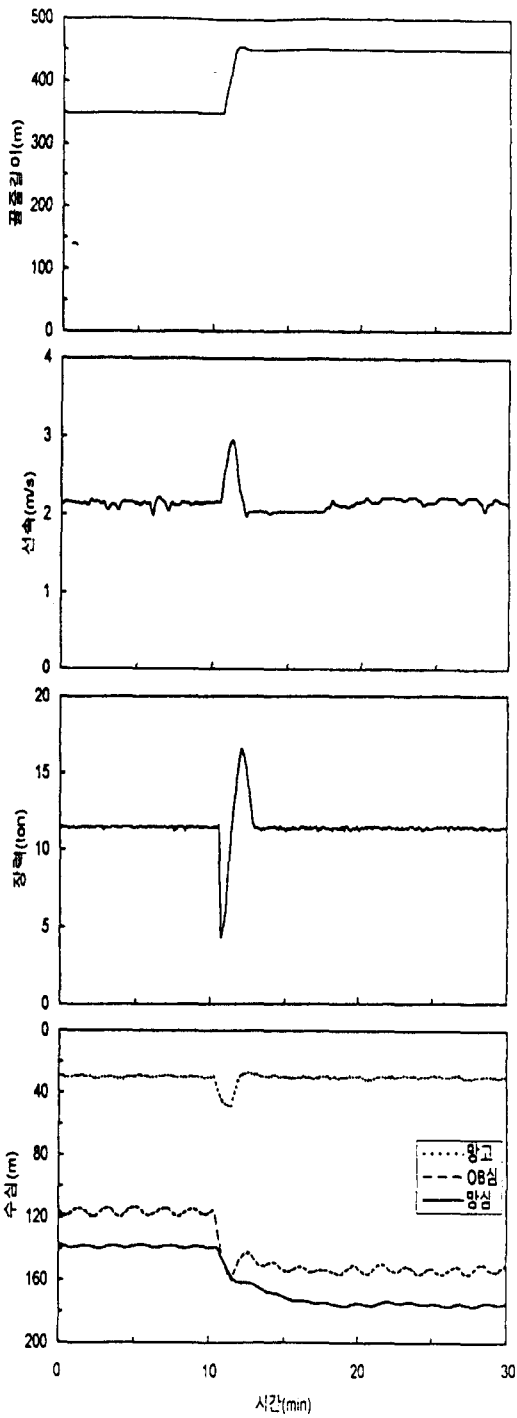


그림 2. 낚줄을 풀어줄때의 어구의 예망 상태

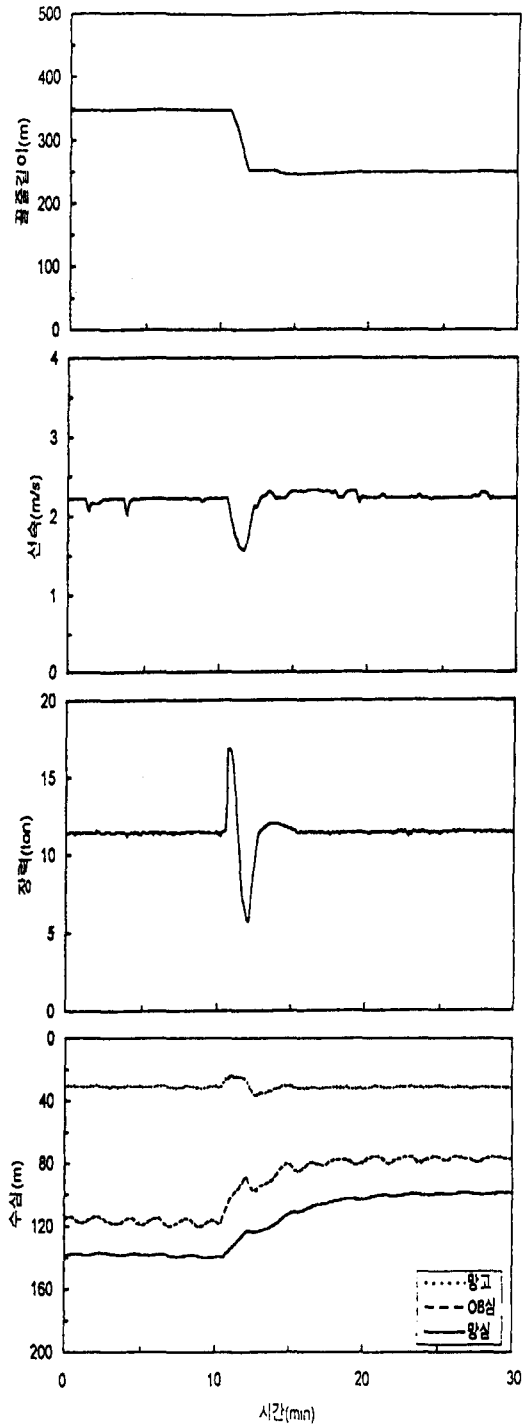


그림 3. 낚줄을 감을때의 어구의 예망 상태

끌줄을 감을 때의 트롤 시스템의 상태 변화로는, 끌줄의 장력이 끌줄을 감아올림과 동시에 급격히 증가하기 시작하고, 끌줄이 다 감아지면 다시 감소되기 시작하여 정상상태 장력보다도 작아졌다가, 다시 증가하여 정상상태의 장력으로 돌아온다. 선속은 끌줄의 장력이 증가하므로 순간적으로 느려졌다가 정상상태를 돌아온다. 어구의 상태변화로는 역시 전개판이 그물보다도 먼저 부상하고 그 뒤를 따라서 그물이 부상하며, 그물에서는 발줄이 먼저 부상하기 시작하므로 망고가 약간 작아졌다가 정상상태로 돌아온다.

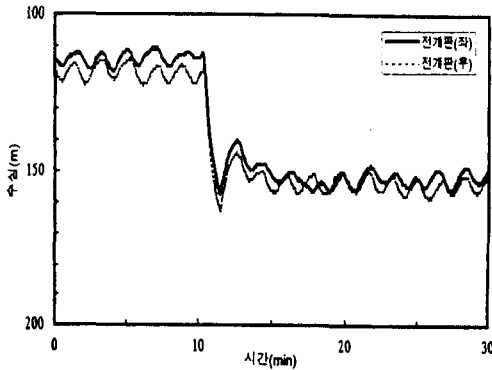


그림 4. 예망중인 전개판의 진동

어구의 운동 중 주목할 만한 점은 그림 4에서 나타낸 바와 같이 전개판이 상당한 상하 진동을 하는 것이다. 본 시험에서 사용한 계측기가 수심을 계측하기 때문에 상하 진동만 확인 할 수 있었으나, 실제 조업시에 끌줄의 상태를 잘 관찰하면 좌우로도 상당한 진동을 하고 있는 것을 볼 수 있다. 상하 진동의 진폭은 4-7m 정도였고, 주기는 2-3분 정도로, 이러한 진동은 어구에 까지도 영향을 미쳤다.

그림 5는 예망 속도를 변경시켰을 때의 트롤 그물의 망고와 저항을 나타내었다. 그림 4에서 망고는 예망속도가 4kt일때를 100%를 보고, 예망속도가 증가 또는 감소하였을 때의 망고를 각각 나타내었는데, 예망속도가 1kt

증가 또는 감소함에 따라 망고는 40%정도가 감소 또는 증가 하였다. 끌줄의 장력은 예망속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

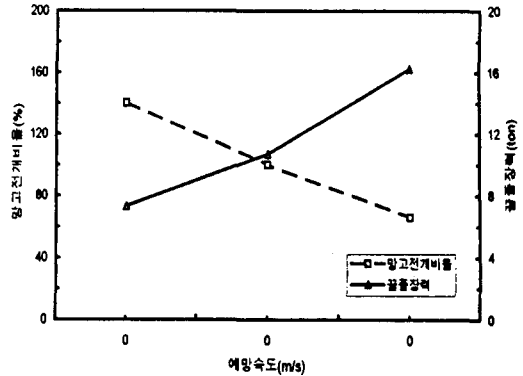


그림 5. 예망속도에 따른 망고와 저항

#### 4. 어구의 예망 수심 제어

트롤 어구의 예망 위치를 정확히 파악하는 것은 어획성능의 향상과 어구의 안전 운용이라는 관점에서도 중요하다. 예망과정을 정역학적으로 분석해 보면, 어구의 수심은 어구의 운동에 의해서 어구 자체가 받는 저항과 어구의 수중무게가 균형을 이루는 점에서 결정된다고 볼 수 있다.

그림 2, 3에서 보면 그물의 수심이 전개판의 수심보다도 낮은 상태로 예망되고 있는 것을 알 수 있다. 트롤 그물은 뜬이 달려 있어서 약간의 부력도 있으나 전체적인 어구 구성에서 침강추나 와이어 로프 등 무거운 재료를 많이 사용하므로 상당한 수중 무게를 갖는다. 본 연구에서 제작된 어구는 수중무게가 1.4톤 정도이므로, 그물의 정상적인 예망 수심은 그물의 수중무게와 어구 저항이 균형을 이루는 점이 되므로 당연히 전개판 보다도 밑에서 예망되게 된다. 본 시험에서는 그물 중심의 수심

은 전개판 중심의 수심보다도 20m 밑에 있었고, 그물의 예망 수심은 4kt의 예망속도에서 끌줄 길이의 0.4배 정도였다.

현재 행해지는 트롤 조업에서 어구수심은 대부분 끌줄 길이를 조정하여 제어하며, 경우에 따라 예망 속도를 변경 시키는 방법으로도 제어하고 있다. 조업시 선장이나 항해사는 어구의 수심과 어군의 수심을 확인하면서 적절한 끌줄 길이 변경치를 지시하는데, 어장환경과 어구상태를 고려하여 정확한 지령치를 내는가에 따라 어획성능이 크게 달라지고, 이것은 물론 조업자의 경험과 지식에 크게 의존된다. 이러한 수동식 조업 방법에서는 조업자의 숙련도에 따라 어획성능에 많은 차이가 생기게 된다. 또 빠르게 이동하는 어군을 추종하면서 예망하는 경우나, 급히 장애물을 회피하는 경우 등, 어구를 신속하고 정확하게 제어 해야 할 경우에는 숙련된 인간의 판단과 조작으로도 한계가 있는 경우가 있다. 따라서 균일한 어획성능의 유지를 위해서도, 최근 양질의 관리직 선원의 구인난과 인건비의 상승 등으로 인한 채산성 악화를 줄이기 위해서라도 트롤의 예망과정은 자동화되어야 한다.

## 5. 맺음말

이상의 시험에서 트롤 시스템의 운동특성이 파악되었는데, 중요한 특징으로는 그물의 예망 수심이 전개판 보다도 상당히 밑이므로 전개판이나 후릿줄의 구집효과가 중층 트롤에서는 크게 작용하지 않을 것으로 판단되며, 또한 전개판이 상당한 진동을 하므로 이러한 진동을 억제할 수 있는 새로운 전개판의 개발도 필요할 것으로 판단된다.

또한 트롤 어구의 예망 제어 시스템의 개발에 관해서는, 우선 트롤 시스템을 기술하는 모델을 도출하고, 수학적 구조에 맞는 보상기를 구성해야 하나, 트롤 시스템이 역학적으로 복잡하여 수학 모델의 기술이 어려울 뿐만아

니라 모델이 기술되어도 비선형의 형태로 기술되기 때문에 선형 제어 시스템의 설계 방법을 적용시키기는 어렵다. 따라서 숙련된 전문가가 자신의 지식과 경험을 토대로 수동식 조업에서 사용하는 트롤시스템의 제어 규칙을 컴퓨터 알고리즘화하여 제어계를 구성하는 인공지능형의 제어 시스템이 적합할 것으로 판단된다. 또한 이러한 제어 시스템을 구성하기 위해서는 어구의 상태를 실시간적으로 계측하여야 하는데, 수중에서 신뢰성있는 어구의 상태정보를 얻기 위해서는 현재로서는 고가의 외산 초음파 계측기를 사용하여야 하는데, 이러한 계측기의 국산화 개발도 시급한 과제이다.