

## 중층트롤 어구의 그물저항과 전개판 간격

박해훈<sup>+</sup> · 윤갑동\*

국립수산진흥원 서해수산연구소, \*부경대학교 해양생산시스템공학과

### Fluid Drag of a Trawl Net and Otter Board Spread in a Midwater Trawl

Hae-Hoon PARK<sup>+</sup> and Gab-Dong YOON\*

West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon 400-201, Korea

\*Department of Marine Production System Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

A method of estimating the fluid drag of a fishing gear and otter board spread in a midwater trawl on full scale was described by implementing a three-dimensional semi-analytic treatment of the towing cable (warp) of a trawl system with the field experiments obtained with the SCANMAR system. The shape of hand rope, bridle and float(or ground) rope attached behind otter boards in a horizontal plane was assumed to be of form  $y_r = Ax_r^B$ . The distance between otter boards (otter board spread) obtained by the three dimensional analysis of a towing cable must be equal to that obtained by the functional equation of the shape of ropes behind otter boards. The angle of attack of ropes which can be obtained from the functional equation enables one to estimate the fluid drag of trawl net (net drag) by subtracting the fluid drag of the hand rope and bridles from the drag component of the tension of hand rope attached just behind the otter boards.

**Key words:** Three dimensional, Towing cable, Net drag, Otter board spread, Midwater trawl

#### 서 론

트롤어업은 상업적인 면에서 규모가 큰 어업일 뿐만 아니라 자원조사에도 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 업종이다. 이 트롤 어구는 끌줄 (warp, towing cable), 전개판 (otter board, OB), 후릿줄 및 뜰줄과 발줄을 포함한 그물로 구성되어 있으며, 저층트롤과 중층트롤로 나뉘어진다. 중층트롤 조업은 북태평양의 해저산이나 수중절벽 같은 곳에서도 행해지며, 경험이 풍부한 선장이나 항해사들은 이론적인 지식이 없어도 어로작업을 능숙하게 수행하기도 하나, 아직까지 학문적으로 충분히 연구되어 있지 않은 실정이다.

중층 및 저층트롤의 경우 어로작업이나 자원조사 때 트롤어구의 망고뿐만 아니라 망폭 (wing spread) 및 전개판의 전개폭을 아는 것은 어로작업 및 자원량 조사에 매우 필요한 사항이다. 예를 들어, 현장에서 선단조업을 하거나 국내선박들 및 외국선박과 함께 조업할 경우, 어장 특성상 일정하게 같은 방향으로나 반대방향으로 예망할 때, 상호간에 전개판이 걸리지 않게 하려면 전개판의 전개간격을 알 필요가 있다.

트롤에 관한 연구로는 Chang (1968), Kim (1981), Lee et al. (1987), Matuda et al. (1991), Buxton and DeAlteris (1993), Yae and Lee (1993), Jang and Lee (1996), Kim (1997), Kim and Lee (1999), Lee and Lee (2000), Cho and Cho (2000), Cho and Go (2000) 등이 연구한 것이 있고, 해석적으로 연구한 것으로는 Hu

and Matuda (1991)이 있으며, 끌줄에 관해선 Pode 해석을 이용한 것으로 Kawakami (1981), Chang and Suh (1982), Park (1993), Park (1994), Park and Yoon (1995), Park and Yae (1999) 등이 있다. 그리고, 수중에서 저항이 큰 물체를 끄는 끌줄의 경우, 줄의 직경이 커지면 흐름에 의한 수력저항 효과를 무시할 수 없으므로, 현수곡선 (catenary)으로 보는 것은 오차가 커질 수 있다 (Huang and Vassalos, 1993). 또한, warp의 형상을 구할 때 깊이와 유속이 증가함에 따라 현수곡선으로 가정하는 것은 오차가 증가하므로 hydrodynamic forces을 반영한 더욱 복합적인 방식이 요구된다고 하였다 (Fridman, 1986). 그리고, 트롤의 어구저항을 구할 때 지금까지 대부분은 모형시험에 의존하여 환산하거나, 실측인 경우 선미에서 끌줄의 장력을 측정하거나, 수중의 전개판 근처에서 측정된 장력을 측정하여 끌줄이나 후릿줄 등을 직선으로 간주하여 전개판이나 어구의 저항을 구하기도 하며, 뜰줄이나 발줄의 형상을 현수곡선으로 가정하기도 한다 (Koyama et al., 1981; Sangster and Breen, 1998; Kim and Lee, 1999; Kim, 2000). 이러한 방법들도 의미가 있기는 하지만 모형으로부터 실물값으로 환산할 때 오차가 있을 수 있으며, 줄의 형상은 수중에서 저항을 받아 직선이 아닌 곡선을 이루며, 뜰·발줄의 배치도 망고를 높이기 위해 중앙부 및 가장자리인 날개그물쪽 등 각 부분에 뜰 및 침자가 일정하게 분포되는 것이 아니고 필요한 부분에는 더 달고 있으며, 그물의 분포도 트롤의 중앙부에는 망지가 많고 가장자리인 날개그물쪽에는 망지분포량이 적고, 흐름에 의한 줄의 수류저항도 줄이 이루는 각도가 각 부분에서 다르기 때문에 현수곡선이라고 볼 수 없다.

<sup>+</sup>Corresponding author: E-mail: hhpark@nfrdi.re.kr

따라서, 뜰줄·발줄의 각 부분에 미치는 항력이 다르므로, (각 부분에서의 항력이 동일할 때 적용되는 형상인) 현수곡선으로 가정하는 것도 근사치값을 구한 것이 된다. 또한, 트롤망 입구의 형태는 때때로 현수곡선 (catenary)보다는 포물선 (parabola) 형태가 더욱 적절하다고 하였는데, 두 곡선 형태의 terminal angle은 상당한 차이가 있다고 하였다 (Fridman, 1986). 지금까지의 끌줄과 후릿줄에 관한 대부분의 논문은 직선으로 가정하였으나, 실제와 보다 가까운 곡선형태로서 끌줄에 3차원 해석을 적용시킨 경우나, 후릿줄 등에 곡선을 도입하여 트롤어구에 적용한 예는 아직 없는 것 같다.

본 논문에서는 Huang and Vassalos (1993)가 줄에 관해 신장을 포함하여 간이 해석적 (semi-analytic)으로 풀 3차원 해석을 중충트물 어구시스템의 끌줄에 적용시키고, 전개판 뒤쪽의 후릿줄, bridle 및 뜰줄·발줄의 형상을 앞에서 말한 바와 같이 곡선 형태인 임의의 지수함수식 (지수가 2이면 포물선임)을 도입하여 실물 중충트물 어구의 유체저항과 전개판의 간격을 구한 방법을 나타낸 것이다. 이에 사용한 자료는 Scanmar (노르웨이의 Simrad사) 시스템을 이용하여 해상실험을 한 Matuda et al. (1991)의 자료를 이용하였다.

재료 및 방법

1) 3차원 해석에 의한 끌줄의 형상

줄에 대해 비틀림 (torsion)이 없고, 줄이 유연하여 장력 (tension) 이외에 다른 관성력 (internal force)이 없으며 줄이 균일하다는 가정하에, Huang and Vassalos (1993)는 다음과 같은 평형 방정식을 유도하였는데 여기서 중충트물 시스템에 해당되는 끌줄의 경우에 대해 간단히 언급한다.

Fig. 1의 직교좌표계에서 s와 p를 각각 줄이 당겨지지 않은 상태와 당겨진 상태의 줄의 길이라 하자. 줄을 0부터 N까지 나누어 각 요소를 침자 i로 표시하면 당겨진 줄의 p<sub>i</sub>과 p<sub>i+1</sub> 사이의 한 점 p에서의 평형방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$T \frac{dx}{dp} = -V_x - \sum_{i=0}^n F_x^i \dots\dots\dots (1)$$

$$T \frac{dy}{dp} = -V_y - \sum_{i=0}^n F_y^i \dots\dots\dots (2)$$

$$T \frac{dz}{dp} = -V_z - \sum_{i=0}^n F_z^i - \frac{W}{L} s \dots\dots\dots (3)$$

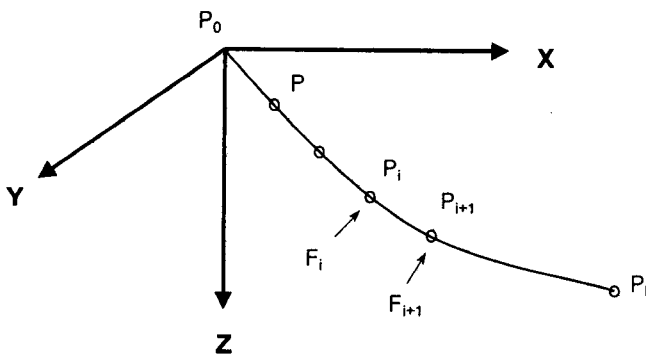


Fig. 1. Three dimensional coordinate system and discretisation.

여기서, T는 줄에 미치는 장력이고, V<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>, V<sub>z</sub>는 줄의 한쪽 끝인 s=0에 작용하는 힘의 세 성분이며, F<sub>x</sub><sup>i</sup>, F<sub>y</sub><sup>i</sup>, F<sub>z</sub><sup>i</sup>는 i번째 줄 요소에 작용하는 외력의 성분이고, L은 긴장되지 않은 줄의 전체길이이며, W는 이 전체길이의 수중중량이다. 그리고, 줄의 길이 s<sub>n</sub>과 s<sub>n+1</sub> 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$x(s_{n+1}) = x(s_n) + \int_{s_n}^{s_{n+1}} \frac{dx}{ds} ds = x(s_n) + \Delta x(s_n) \dots\dots\dots (4)$$

$$y(s_{n+1}) = y(s_n) + \int_{s_n}^{s_{n+1}} \frac{dy}{ds} ds = y(s_n) + \Delta y(s_n) \dots\dots\dots (5)$$

$$z(s_{n+1}) = z(s_n) + \int_{s_n}^{s_{n+1}} \frac{dz}{ds} ds = z(s_n) + \Delta z(s_n) \dots\dots\dots (6)$$

단,

$$\Delta x(s_n) = - \frac{V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i}{EA} (s_{n+1} - s_n) + \frac{L(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)}{W}$$

$$\left[ \begin{aligned} & \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} - \\ & \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} \end{aligned} \right]$$

$$\Delta y(s_n) = - \frac{V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i}{EA} (s_{n+1} - s_n) + \frac{L(V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)}{W}$$

$$\left[ \begin{aligned} & \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} - \\ & \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} \end{aligned} \right]$$

$$\Delta z(s_n) = \frac{L}{2WEA} \left[ (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)^2 - (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})^2 \right] + \frac{L}{W} \left[ \sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2} + (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)^2 \right. \\ \left. \sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2} + (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})^2 \right]$$

단, E는 영률 (Young's modulus)이고, A는 긴장되지 않은 줄의 단면적이다.

따라서, 신장된 줄의 s<sub>n</sub>과 s<sub>n+1</sub> 사이의 임의점 (s)에서의 줄의 좌표는 다음과 같이 주어진다.

$$x(s) = x(0) + \sum_{i=0}^{n-1} \Delta x(s_i) + \int_{s_n}^s \frac{dx}{ds} ds \dots\dots\dots (7)$$

$$y(s) = y(0) + \sum_{i=0}^{n-1} \Delta y(s_i) + \int_{s_n}^s \frac{dy}{ds} ds \dots\dots\dots (8)$$

$$z(s) = z(0) + \sum_{i=0}^{n-1} \Delta z(s_i) + \int_{s_n}^s \frac{dz}{ds} ds \dots\dots\dots (9)$$

2) 트롤어구의 유체저항 측정법

중충트물 어구에 관해 Matuda et al. (1991)은 매우 상세한 해

상실험을 실시하였다. 이 실험에서 사용한 중층용 어구는 10배로 구성된 폴리에틸렌 그물이며, 측정된 항목은 선속, 망깊이, 망입구의 폭, 망고, 전개판의 깊이, 후릿줄 및 끌줄의 장력, 끌줄의 길이 등이었다. 이러한 여러가지 측정된 자료에 대해 Hu and Matuda (1991)는 줄에 대해 신장 없이 3차원적으로 해석하여 여러 가지 결과를 보고한 바가 있는데, 이때 전개판의 전개성능은 최대전개력을 가정하였고, 해상실험에서 사용한 세 가닥으로 된 bridle은 계산의 편리를 위해 한 가닥으로 취급하였으며, 망 (그물)깊이는 천장망 깊이에 망고의 1/2을 합한 것으로 하였다.

본 논문에서는 위와 같은 방법으로 측정된 자료의 일부를 이용하여 실물어구의 유체저항과 전개판 간격을 구하는 방법을 제시한다. 기존의 방법에서는 어구에 관한 계산을 단순화시키기 위해 줄의 형상을 직선으로 본다든가 때로는 현수곡선으로 가정하기도 하나, 줄 (끌줄, 뜰줄, 발줄, 후릿줄, bridle 등)은 흐름속에서 유수저항을 받기 때문에 줄의 형상은 수중에서 곡선형태를 이루며, 줄 (및 그물)의 각 부분에선 영각이 다르므로 받는 힘은 다소 다르게 되고, 뜰·발줄의 형상도 망고를 높이기 위해 중앙부에는 뜰을 많이 달고 날개그물쪽이나 그 사이에 뜰같이 달지 않으며, 그물의 분포도 트롤의 중앙부에는 망지가 많고 날개그물쪽에는 망지분포량이 적다. 따라서, 줄의 어느 점에서나 같은 힘을 받을 때 적용되는 현수곡선으로 가정하는 것은 근사값을 구하는 것이 된다. 그리고, 전개판의 간격도 줄의 형상을 직선으로 가정하여 구한 것과 실측과의 차이는 상당히 있다고 한다 (Kim, 2000; Cho and Go, 2000). 또, 수중에서 물의 흐름이 그물 (및 줄)에 미치는 항력은 그 형상을 곡선으로 만드는 것을 보여 주었다 (Stewart and MacLennan, 1987).

따라서, 본 논문에서는 Matuda et al. (1991)이 구성한 어구에 대해 뜰·발줄 및 bridle 등의 줄의 형상에 미치는 힘은 다음과 같이 곡선과 직선을 결합시킨 힘의 합력을 고려한 방법을 도입하고자 한다. 전개판 뒤쪽의 후릿줄, bridle 및 뜰줄 (발줄)이 이루는

줄의 형상을 다음과 같은 함수 형태로 가정하였다.

$$y_i = ax_i^b \dots\dots\dots (10)$$

일반적으로 트롤어구는 좌우대칭 (Fig. 2)으로 구성하기 때문에 여기서 한쪽만을 취급한다.

먼저, 뜰줄 (발줄)이 이루는 형태는 Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이, 이 호의 중심을 원점으로 하고 어구의 진행방향 (수직거리)을  $y_i$ 축, 전개폭 방향 (수평거리)을  $x_i$ 축으로 하면, 원점에서 임의 점까지의 줄의 길이는 다음과 같이 주어진다.

$$l_i = \int_0^{x_i} \sqrt{1+y_i'^2} dx \dots\dots\dots (11)$$

여기서  $y_i'$ 은  $y_i$ 의 미분을 나타내며,  $x_1$ 과  $x_2$ 는 원점에서 날개그물의 끝과 전개판 (OB)까지의 수평거리이다. 또, 원점에서 날개그물 끝까지의 뜰줄의 길이 ( $l_1$ )와 전개판까지의 줄의 길이 ( $l_2$ ) 및 원점에서 날개그물 끝점까지의 수평거리 ( $x_1$ )는 알고 있는 값이다. 또한, Fig. 3(b)로부터 전개판을 중심으로 끌줄 장력의 수평성분을  $T_{wh}$ , 후릿줄에 미치는 장력의 수평성분을  $T_{hh}$ 라 하고, 전개판에 미치는 양력을  $L_{OB}$ 라 하면 힘의 평형상태로부터 다음 관계가 성립해야 한다.

$$T_{wh} \sin(\phi) + T_{hh} \sin(\delta) = L_{OB} \dots\dots\dots (12)$$

여기서,  $\phi$ 는 끌줄의 수평성분이 선박의 진행방향과 이루는 각이고,  $\delta$ 는 후릿줄의 수평성분이 진행방향과 이루는 각이다. 그리고, 식 (8)에 의해 구한 전개판의 수평거리와 식 (11)에서의 전개판의 수평거리 ( $x_2$ )가 같아야 한다. 즉,

$$y(s) |_{s=L} = x_2 \dots\dots\dots (13)$$

이와 같은 조건으로 함수식을 구했을 때 뜰줄 (발줄) 끝에서의 줄의 영각 ( $\phi_c$ )을 구할 수 있다. 한편, 자루그물 쪽 (끌자루는 제외)으로 연결되어 있는 힘줄은 직선이라고 가정하면 이 힘줄의 영각 ( $\phi_b$ )도 어구설계도와 기존의 측정값으로부터 구할 수 있다.

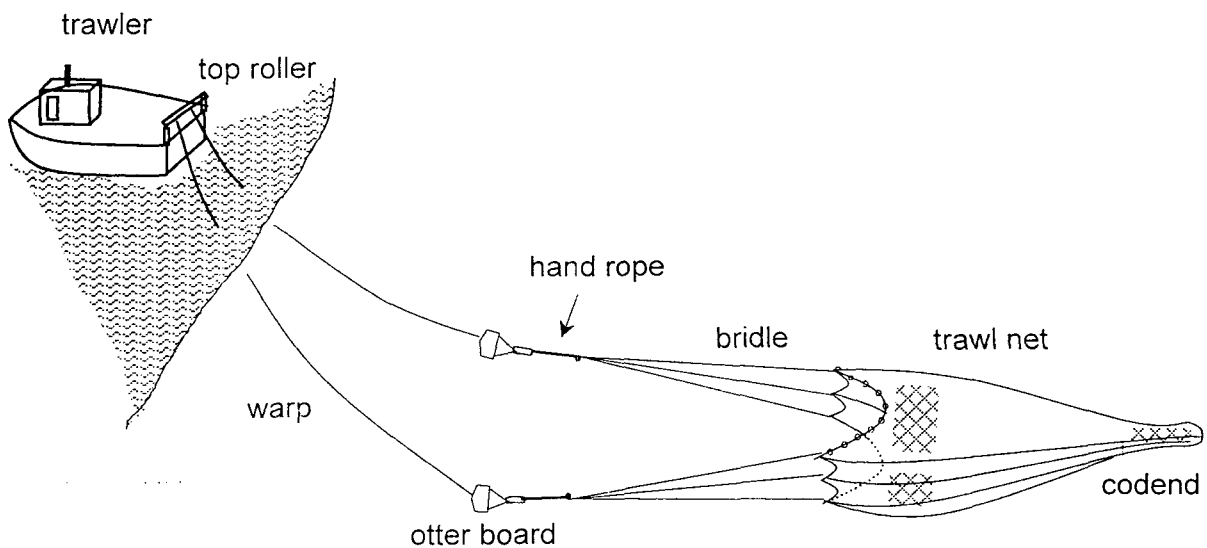


Fig. 2. A typical midwater trawl.

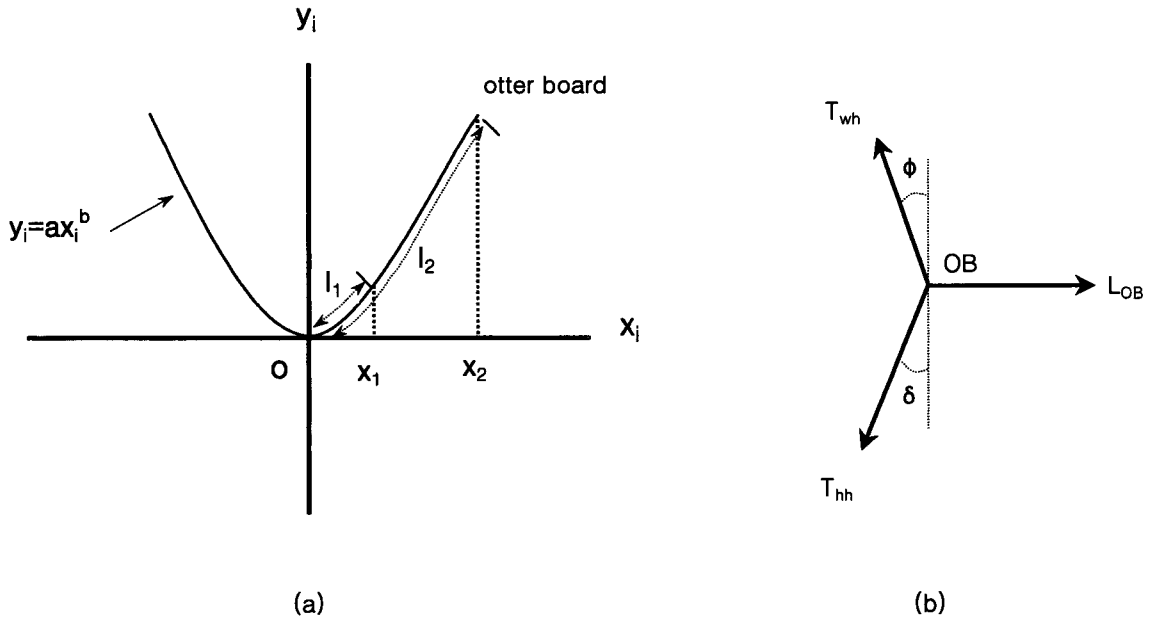


Fig. 3. (a) A coordinate describing the shape of ropes attached behind otterboards  $\ell_L$ : half length of a float line. (b) Equilibrium of three forces (tension of warp, hand rope and sheer force) at the otter boards.

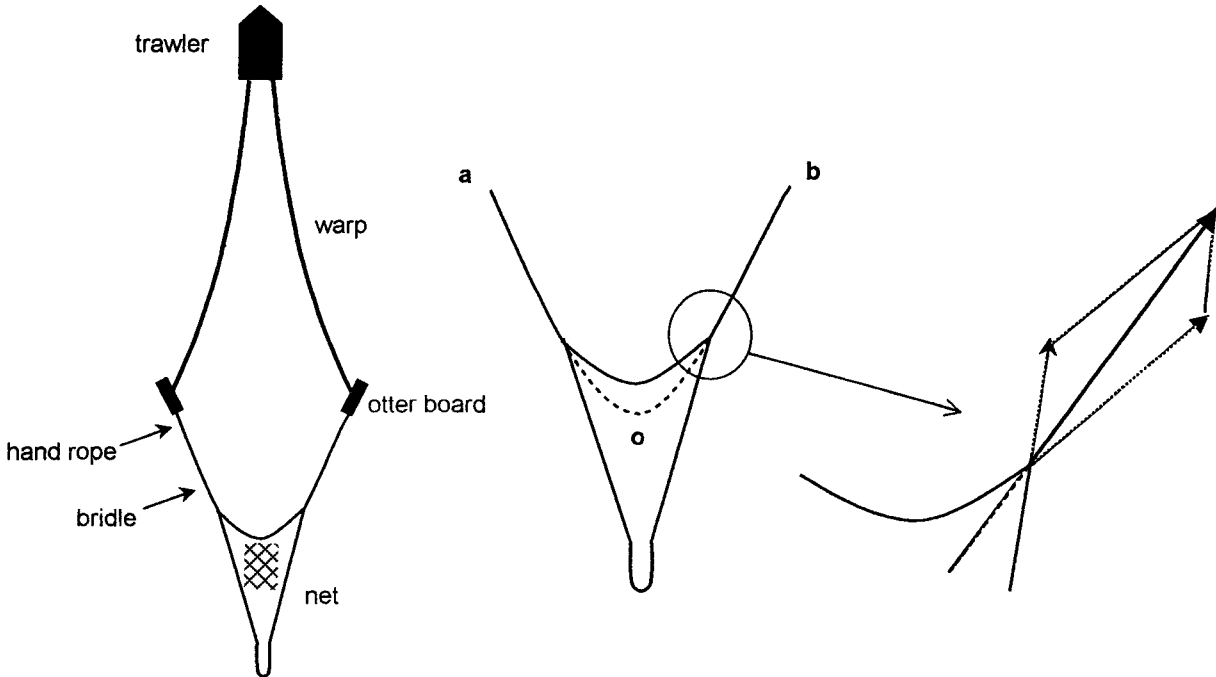


Fig. 4. An upper view of a midwater trawl indicating the shape of a resultant force (dotted line) of float, ground ropes and lacing line.

그리고, 세 개의 bridle을 사용하여 날개그물 끝 (wing end)과 전개판 (OB)을 연결하였는데, 길이가 같은 세 줄 중에서 상하 두 개는 뜰줄과 발줄에 연결되어 있고 가운데 하나는 힘줄로 끝자루 쪽으로 연결되어 있다. 따라서, 날개끝의 한 점에 모든 힘이 모여 있다고 간주하면, 이 점에 미치는 힘은 동일한 길이인 3개의 bridle 중에서, 상하 2개의 bridle에 미치는 힘은 가운데 bridle에 미치는

힘의 2배라고 가정하였다. 이 힘들의 합력이 이루는 bridle 형태가 실제로 이루는 곡선형태이며 식 (14)에 의해 Fig. 4에서 이 곡선의 연장선 (호aob)이 점선으로 표기되어 있다.

$$y_r = Ax_r^B \dots\dots\dots (14)$$

따라서, 삼각함수의 제2코사인 법칙을 이용하면 날개끝에서의

bridle이 수평축과 이루는 각도 ( $\phi_1$ )는 뜰줄 및 발줄이 이루는 곡선과 힘줄이 이루는 직선에 의한 힘의 합으로써 구할 수 있고, 또한 다음 조건인 식 (15), (16) 및 식 (13)의 조건을 이용하여 식 (14)를 구할 수 있다.

$$y_n' = \tan \phi_1 \quad (\text{단, } x=x_1 \text{에서의 값임}) \dots\dots\dots (15)$$

$$k - l \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1+y_r'^2} dx \dots\dots\dots (16)$$

이와 같은 조건으로 함수식을 구했을 때 전개판 (OB) 뒤쪽의 후릿줄과 날개그물 끝에서의 줄의 영각을 구할 수 있고, 줄의 경사각은 전개판 깊이와 망 (그물)깊이의 차이로부터 구할 수 있다. 따라서, 전개판 뒤쪽의 후릿줄 (hand rope) 장력의 저항성분에서 유속에 의한 후릿줄과 bridle의 유체저항을 빼면 어구의 유체저항을 구할 수 있다.

**결과 및 고찰**

본 연구에서 구한 어구의 유체저항은 Matuda et al. (1991)이 해상실험에서 실시한 10매로 구성된 폴리에틸렌 증충용 트롤어구에 관한 것으로, 전장은 61.1 m, 최대동장은 64.8 m이다. 끌줄은 직경이 22 mm인 와이어 로프이고, bridle은 직경 18 mm, 길이 100 m인 와이어 로프를 3개 사용하였다. 어구연결은 전개판에 후릿줄과 세가닥의 bridle로써 뜰줄, 발줄 및 날개그물 끝의 힘줄에 연결하였다. 뜰줄과 발줄의 길이는 모두 28.2 m이고, 전개판은 종횡비 1.67, 높이 2.71 m, 수중중량이 935 kg인 종만곡 V형을 사용하였다. 뜰의 부력은 544.5 kg, 체인으로 된 침자의 침강력은 548 kg였다. 해상실험에서 각 요소를 측정할 때 어구의 천장망 깊이, 망고, 전개판의 깊이, 후릿줄의 장력, 날개그물의 간격은 노르웨이의 Simrad사가 제작한 Scanmar (catch control) 시스템을 사용했고, 끌줄의 장력은 선미의 톱 롤러에서 로드셀 (load cell)로 측정하였으며, 여기서 이와 같이 여러가지 줄 길이에 대해 측정한 자료 중에서 줄의 길이가 300 m인 경우 (Table 1)에 대한 측정값을 이용하여 식 (14)를 구하므로써, 앞절에서 설명한 바와 같이 트롤어구의 그물만의 유체저항을 구한 예는 다음과 같다.

먼저, Table 1을 보면 물의 흐름이 오른쪽 방향으로 있기 때문에 좌우 전개판의 깊이가 일정하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 여기서 Table 1에서의 후릿줄 (hand rope)의 장력측정값 등 좌우 2개의 값이 다르기에 평균한 값을 사용하였다. 그리고, 흐름에 수직인 줄에 미치는 항력은  $R = (1/2)C_d\rho SV^2$  (단,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $S$ 는

줄의 투영면적,  $V$ 는 상대유속)로 나타낼 수 있으며, 줄의 항력계수 ( $C_d$ )는 Reynolds 수의 범위가  $5 \times 10^3 < Re < 2 \times 10^4$ 인 범위내에서  $C_d = 1.2$ 인 값을 사용하였다 (Sato and Miyazaki, 1984). (단,  $Re = Vd/v$ . 여기서,  $d$ 는 wire rope의 직경,  $v$ 는 유체의 동점성계수). 그리고, 흐름에 수직이 아닌 줄의 경우인 후릿줄과 날개그물 끝에서의 bridle의 각도는 평균하여 줄의 저항을 구하는데 사용하였다.

위와 같이 하여 줄길이가 300 m인 경우에 예망속도에 따라 구한 전개판의 간격과 트롤어구의 유체저항을 구한 것은 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타나 있다. Koyama et al. (1981)에 의해 날개간격을 알고 그물 및 후릿줄의 길이를 직선으로 가정하여 전개판의 간격을 구한 것과 본 논문에서 적용한 (직선과 곡선의 합력으로 구한) 결과와 비교하면, 유속 3.04 kt 및 3.86 kt의 경우, 직선으로 가정한 경우의 전개판 간격은 약 57.4 m 및 76.2 m였고, Fig. 5로부터 본 논문에서 구한 값과 비교하면, 두 방법에서의 전개판 간격차이는 약 28.1 m 및 10.8 m만큼 본 논문에서 (직선과 곡선의 합력으로) 구한 전개판 간격이 더 넓었다. 이러한 차이의 이유는 날개그물 끝에서의 힘의 합력은 역학적으로 뜰줄, 발줄 및 자루그물에 부착된 힘줄의 합력으로 구성되고, 이 세 줄은 날개그물끝에서 bridle과 연결되는데, Koyama et al. (1981) 방법에서는 뜰줄, 발줄의 힘을 무시한 것 같기에 전개판 간격 차이가 크게 나타난 것으로 판단된다. (참고로, 실제 실험했던 원저자 (Matuda et al., 1991)와의 개인적인 서간 통신으로부터, 원저자가 추정한 전개판간격은 유속 3.04 kt 및 3.86 kt의 각각의 경우에 대해, 본 논문에서 구한 전개판 간격보다 약 3.4 m 및 9.0 m 넓었으며, 직선으로 가정 (Koyama et al., 1981)한 경우보다는 약 31.5 m 및 19.8 m 넓었다). Fig. 5에 의하면 양쪽 전개판의 간격은 예망속도의 증가에 따라 급격히 증가한 후 완만해지며, 이때 망고는 반대로 감소함을 알 수 있다.

본 연구에서 인용한 증충트롤어구의 그물만의 유체저항 ( $R_n$  (kg))과 유속 ( $V_{(m/s)}$ )과의 관계는

$$R_n = 1204.6 V_{(m/s)}^{1.99} \dots\dots\dots (17)$$

$$(r^2 = 0.8845)$$

어구의 유체저항은 예망속도가 증가함에 따라 처음에는 서서히 증가하다가 나중에 크게 증가함을 알 수 있다. 그리고, 후릿줄의 장력과 어구저항과의 차이는 (Table 1을 참고하면) 예망속도 (또는 유속)가 클수록 다소 크게 나타나고 있다.

현장에서 측정한 값을 이용하여 어구에 관한 특성을 해석할 때, 더욱 정확한 값을 구하기 위해서는 조류의 방향 및 세기 등도 함께 구할 필요가 있다. 기존 논문 (Matuda et al., 1991)에서는 후릿줄

**Table 1. Some recorded values of a ten-panel midwater trawl net test on full scale gear (From Matuda et al., 1991)**

Ship's speed (kt)	RPM of engine	Depth of net (m)	Width of net mouth (m)	Height of net mouth (m)	Depth of otter board (m)		Tension of hand rope (kgw)		Tension of warp (ton)		Warp length (m)
					starboard	port	starboard	port	starboard	port	
2.61	179	193.2	16.9	21.1	175.3	186.2	1497.2	1144.5	2.59	2.04	300
3.04	180	181.3	17.0	21.2	176.7	184.5	1549.2	1323.7	2.60	2.36	300
3.43	180	151.5	19.3	19.9	139.0	145.7	2171.3	1749.8	3.30	2.78	300
3.86	181	129.2	22.8	18.3	108.8	114.9	3248.9	2548.3	4.33	3.60	300

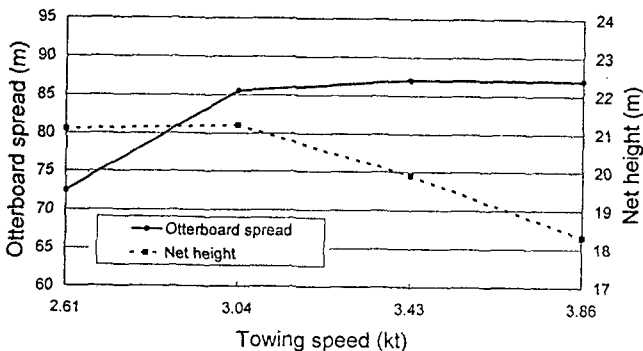


Fig. 5. Otterboard spread and net height.

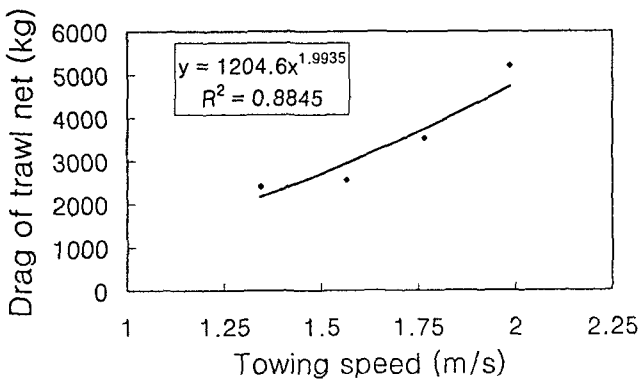


Fig. 6. The dependence of the net drag on towing speed for a ten-panel midwater trawl.

의 장력을 예망속도의 함수로 나타내어 그물의 유체저항을 직접 언급하지 않았으나, 본 논문에서 제시한 방법을 이용하면 줄의 형태를 곡선으로 둔 상태로써 유속에 대한 그물만의 유체저항을 직접적으로 구할 수 있다.

### 요 약

중층트롤 어구의 유체저항을 구하거나 전개판의 간격을 구하는 것은 어구설계나 어로작업에 유용하다. 본 논문에서는 끝줄에 관해 신장을 포함하여 간이해석적 (semi-analytic)으로 푼 3차원해석을 이용하여 중층트롤 어구의 끝줄에 적용시키고, 줄의 형상에 대해 기존의 직선이라는 가정은 실제로 이루는 곡선과는 차이가 있기에, 여기서는 줄의 형상을 곡선 형태로 도입하였는데, 날개그물 끝에서 후릿줄, 뜸·발줄 및 (자루그물의) 힘줄에 미치는 세 힘의 합력을 역학적으로 고려하여 어구의 유체저항을 구한 방법을 나타낸 것으로서, 이때 전개판 (OB) 뒤쪽의 후릿줄 (hand rope), bridle 및 뜸 (발)줄의 형상을 곡선인  $y_r = Ax_r^B$ 의 형태 ( $B=2$ 이면 포물선 (parabola)임)로 가정하였다. 기존의 중층트롤의 실험자료에서 끝줄의 길이가 300 m인 경우에 예망속도의 변화에 따른 여러가지 측정값을 이용하여 트롤어구의 유체저항을 구하는 새로운 방법을 제시하였는데, 10매로 구성된 망지의 유체저항 ( $R_n$ (kg))과 유속 ( $V$ )과의 관계는  $1.34 < V_{(m/s)} < 1.99$  범위에서  $R_n = 1204.6 V_{(m/s)}^{1.99}$ 의 관계가 있었다.

여기에서 제안한 방법을 이용하면 트롤어구의 그물만의 유체저항을 직접적으로 구할 수 있다.

### 감사의 글

저자중의 한 사람인 차은 본 논문의 밑받침이 되도록 석사과정 시절 가르쳐주신 釜慶大學校 張志阮 名譽教授님과 본 논문 작성에 도움되는 자료를 보내주신 바 있는 (당시) 日本 東京水産大學 松田教授님께 깊은 感謝를 드립니다. 그리고, 여러가지 지적으로 논문작성에 도움주신 익명의 심사위원들께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

Buxton, N.G. and J.T. DeAlteris. 1993. Qualification of water flow and net drag in midwater trawls. Fisheries Research, 16, 165~178.

Chang, J.W. 1968. A study one boat midwater trawl. Bull. Pusan Fish. College, 8, 1~12 (in Korean).

Chang, J.W. and D.O. Suh. 1982. Fishing Gear Engineering. Sinhan, Pusan, 304pp (in Korean).

Cho, B.K. and S.O. Cho. 2000. A study on the bottom trawl gear by the trial of a stern trawler-I. On the resistance of bottom trawl gear. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 36, 274~280 (in Korean).

Cho, B.K. and G.S. Go. 2000. A study on the bottom trawl gear by the trial of a stern trawler-II. On the net shape of a bottom trawl gear. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 36, 281~286 (in Korean).

Fridman, A.L. 1986. Calculations for fishing gear designs. FAO Fishing Manuals, Fishing News Books Ltd., pp. 76~87, 152~184.

Hu, F. and K. Matuda. 1991. An analytical method of static characteristics of midwater trawl system. Nippon Suisan Gakkaishi, 57, 661~666 (in Japanese).

Huang, S. and D. Vassalos. 1993. A semi-analytic treatment of three dimensional statics of marine cables. Ocean Engineering, 20, 409~420.

Jang, C.S. and B.G. Lee. 1996. A study on the midwater pair trawling-IV. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 32, 7~15 (in Korean).

Kawakami, T. 1981. Introduction to Fisheries Analysis. Koseisa, Tokyo, 294pp (in Japanese).

Kim, D.A. 1981. On the theory for designing the otter boards of trawl nets. Bull. Yeosu Nat. Fish. Coll., 2, 9~13 (in Korean).

Kim, D.A. 1997. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 4. Flow resistance of trawl net. J. Korean Fish. Soc., 30, 691~699 (in Korean).

Kim, I.J. and C.W. Lee. 1999. Analysis of the net mouth shape for a midwater trawl gear. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 35, 118~128 (in Korean).

Kim, J.K. 2000. Fishing gear and methodology in coastal and offshore waters. Yooil, Pusan, pp. 315~360 (in Korean).

Koyama, T., T. Kudo and O. Oba. 1981. Drag and shear of the Süberkrüb type trawl boards. Bull. Nat. Res. Inst. Fish. Eng., 2, 95~103 (in Japanese).

Lee, B.G., J.K. Kim, J.H. Choe and H.Y. Chang. 1987. Study on the midwater trawl available in the Korean waters-IV. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 23, 6~10 (in Korean).

Lee, C.W. and J.H. Lee. 2000. Modeling of a midwater trawl system with respect to the vertical movements. Fisheries Science, 66, 851~857.

- Matuda, K., F. Hu, K. Satoh, Y. Saotome and I. Kasuga. 1991. Field experiment on static characteristics of midwater trawl system. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 655~660 (in Japanese).
- Park, H.H. 1993. A tension measurement method of a towing cable or a buoy cable. *Ocean Engineering*, 20, 163~170.
- Park, H.H. 1994. A study on improvement of accuracy of underwater acoustic positioning system by Kalman filter. Ph. D. thesis, National Fisheries University of Pusan. 88pp (in Korean).
- Park, H.H. and G.D. Yoon. 1995. A tension measurement method of in-water cable using an acoustic positioning system and analysis of a towing cable considering elongation. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 49, 175~185 (in Korean).
- Park, H.H. and Y.H. Yae. 1999. Use of cable functions by Pode's analysis in a towing cable or a buoy cable. *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, 35, 323~358 (in Korean).
- Sangster, G.I. and M. Breen. 1998. Gear performance and catch comparison trials between a single trawl and a twin rigged gear. *Fisheries Research*, 36, 15~26.
- Sato, K. and Y. Miyazaki. 1984. A study on an approximate calculation for towing fishing gears. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 50, 793~804 (in Japanese).
- Stewart, P.A.M. and D.N. MacLennan. 1987. Fishing gear technology. In *Developments in Fisheries Research in Scotland*. R.S. Bailey and B.B. Parrish, editors. Fishing News Books, Surrey, England, pp. 123~138.
- Yae, Y.H. and B.G. Lee. 1993. A model experiment on the basic efficiency of midwater rope trawl net. *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, 29, 200~213 (in Korean).

---

2001년 2월 28일 접수

2001년 4월 25일 수리