

## 저층 트롤에서 3차원 위치를 이용한 만곡형 전개판의 영각 추정

고광수 · 조봉곤<sup>1</sup> · 배재현<sup>2</sup> · 조성옥<sup>3</sup> · 원성재<sup>4</sup> · 윤홍근<sup>4</sup> · 박해훈<sup>5\*</sup>  
군산대학교 실습선, <sup>1</sup>군산대학교, <sup>2</sup>동해수산연구소, <sup>3</sup>선박안전기술공단, <sup>4</sup>(주)비엠인터내셔널

### An estimated angle of attack of a cambered otter board in a bottom trawl using three dimensional position

Gwang Su GO, Bong Kon CHOL, Jae Hyun BAE<sup>2</sup>, Seong-Ok CHO<sup>3</sup>, Sung-Jae WON<sup>4</sup>, Hong Keun YOON<sup>4</sup>,  
Hae-Hoon PARK<sup>5\*</sup>

*Kunsan National University Training Ship, Kunsan, Jeonbuk 573-701, Korea*

*<sup>1</sup>Marine Science & Production Major, Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea*

*<sup>2</sup>East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung, Gangwon-do 210-861, Korea*

*<sup>3</sup>Gunsan Branch, Korea Ship Safety Technology Authority, Gunsan, Jeonbuk 573-410, Korea*

*<sup>4</sup>BMINTERNATIONAL, Gangseo-gu, Busan 604-826, Korea*

*<sup>5</sup>102-dong 402-ho, 158, Sasil-ro, Haeundae-gu, Busan 612-778, Korea*

The angle of attack of a cambered otter board in a bottom trawl was estimated using a three-dimensional semi-analytic treatment of a towing cable (warp) system that was applied to the field experiments of a bottom trawl obtained by the Scanmar system. The equilibrium condition of the horizontal component and vertical component of forces was used to the three forces acting on the otter board in the horizontal plane. Those forces were the force on the warp at the bracket, hydrodynamic lift and drag forces on the otter board and the force on the hand rope attached just behind the otter board. Also the equilibrium of moment about the front edge of the otter board was used to find out the angle of attack of the cambered otter board. When the warp length was 120m and 180m long and the towing speed was between 1.23 and 1.90 m/s, the estimated angle of attack of the cambered otter board was ranged between 26.1° and 29.6°, respectively, though the maximum lift force was at the angle of attack 22.6°. The angle of attack of the otter board was tended to increase weakly with the longer length of warp (180 m) at the same towing speed in the experiment.

Keywords: Otter board, Angle of attack, Lift, Drag, Moment, Bottom trawl

#### 서론

트롤어업은 상업적으로도 규모가 큰 어업일 뿐만 아

니라 자원조사에도 중요한 역할을 하고 있다. 트롤 작  
업은 평탄한 지형이나 해저산이나 심해에서도 행해지

\*Corresponding author: parkhh01@naver.com, Tel: +82-10-2448-9853

며, 해저 생태계를 보호하기 위해 어구의 발줄이 해저에 닿지 않도록 하는 방법도 연구되고 있다.

트롤어구의 주요 부분은 끌줄, 전개판 및 그물로 구성되어 있다. 일반적으로 줄을 간편하게 해석하기 위하여 종종 직선으로 가정하기도 하였고, 끌줄에 관해서는 Pode가 2차원적으로 해석한 바 있고 (Kawakami, 1959; Chang and Seo, 1982; Park, 1993; Park and Yae, 1999), Huang and Vassalos (1993)는 줄에 관해 신장을 포함하여 간이 해석적으로 3차원 식을 유도하였다. 전개판에 대한 연구로는 평판형, 만곡형, 원형, 복엽형(複葉型), 슬롯형 및 그외 회전실린더의 전개력에 관한 것이 있으며 (Süberkrüb, 1959; Crewe, 1964; FAO, 1974; Kawakami, 1981; Koyama et al., 1981; Lee et al., 1987; Lin et al., 1989; Matuda et al., 1990; Ko et al., 1991; Kwon and Ko, 1994; Bae, 2000; Park et al., 2001; Park and An, 2002; Park, 2005), 그물 구성이나 줄에 미치는 힘에 관해서 이론적으로 전개시킨 것이 있고 (Chang and Seo, 1982; Fridman, 1986; Stewart and MacLennan, 1987; Matuda, 2001), 모형실험이나 시뮬레이션을 통해 중층 트롤어구의 성능나 어구에 대한 물고기의 행동을 연구한 것이 있으며 (Chang, 1968; Buxton and DeAlteris, 1993; Jang and Lee, 1996; Lee et al., 2000, 2001, 2005; Hu et al., 2001; Lee et al., 2008), 실물 중층 트롤어구와 전개판을 이용한 해상실험으로부터 어구의 전개상태와 줄에 걸리는 장력 등을 조사, 연구한 것이 있다 (Lee et al., 1987; Fu and Matuda, 1991; Matuda et al., 1991; Kim and Lee, 1999; Park, 2007). 또한 저층 트롤어구에 대해 어구의 성능과 형상을 파악하고자 한 연구가 이루어져 왔다 (Sato and Miyazaki, 1984; Engås, 1994; Sangster and Breen, 1998; Cho and Cho, 2000; Cho and Go, 2000; Park et al., 2008; Prat et al., 2008; Park, 2014).

전개판은 트롤어구에 있어서 그물의 입구를 좌우로 전개시켜 어군을 입망시키고 어구를 수중으로 신속히 가라앉히게 하는 매우 중요한 역할을 한다. 전개판의 전개력과 항력에 관한 성능과 특징은 전개판의 종류에 따라 다르다. 전개판의 성능을 파악하는 데는 실물로써 측정하는 것이 바람직하나, 현장작업이나 수중에서의 측정기술 및 장비 면에서 실제 예망중인 트롤어구의 각 부분과 전개판의 영각을 측정하는 것은 쉽지 않은 일이기에, 주로 모형을 제작하여 수조에서 전개판을 고정

에 고정시킨 후 전개판의 양력계수, 항력계수, 모멘트 계수 등을 측정하여 그 성능을 파악하고 있다. 이러한 수조실험에 의한 결과에 대해, 외국의 경우에는 실물 평판형 전개판에 대해서 영각을 실제로 현장에서 측정한 사례가 있다 (Crewe, 1964). 또한 중층 트롤의 경우에 현장 측정값으로부터 중만곡 V형 전개판의 영각을 추정하는 바 있다 (Matuda et al., 1990; Park, 2005).

지금까지 전개판에 대한 모형시험으로 얻은 결과가 실제 현장에서 어떻게 나타났는지에 대해 확인된 것은 극히 드물다. 따라서 이 연구에서는 전개판을 포함한 실물 저층트롤 어구의 장력 등의 현장 측정값으로부터 만곡형 전개판의 영각을 추정하는 방법을 제시하였다. 이에 사용한 자료는 해상 트롤시험에서 Scanmar (노르웨이 Simrad사) 시스템으로 여러 가지 요소를 측정했던 자료 (Cho and Cho, 2000; Cho and Go, 2000)와 수조에서 만곡형 전개판에 대한 모형실험의 자료를 사용하였다. 이 연구에서 구한 전개판의 영각 추정법은 전개판에 미치는 수력저항의 수평, 수직 방향의 힘과 모멘트의 평형, 그리고 Huang and Vassalos (1993)가 줄에 관해 간이 해석적 (semi-analytic)으로 풀 3차원 해석을 저층트롤 어구시스템의 끌줄에 적용시켜 실물 전개판의 영각을 추정하는 것이다.

## 자료 및 방법

### 1) 끌줄의 3차원 해석

Huang과 Vassalos (1993)는 줄에 대해 비틀림이 없고, 줄이 유연하여 장력 이외에 다른 관성력 (inertia force)이 없으며 줄이 균일하다는 가정 하에 줄에 관해 3차원 해석으로 유도한 끌줄의 좌표에 대한 식은 다음과 같다.

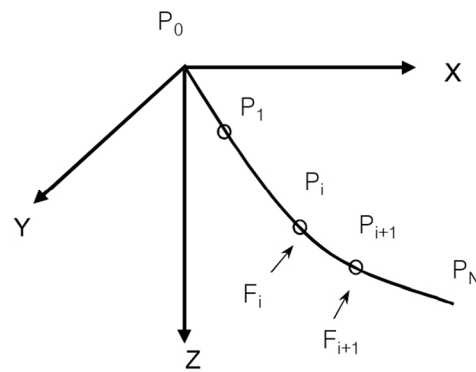


Fig. 1. Three-dimensional coordinate system and discretisation of a cable.

줄이 당겨지지 않은 상태와 당겨진 상태의 줄의 길이를 각각  $s$ 와  $p$ 라 하자. Fig. 1의 직교좌표계에서 줄을 0부터  $N$ 까지 나누어 각 요소를 첨자  $i$ 로 표시하면 당겨진 줄의  $p_n$ 과  $p_{n+1}$  사이의 한 점  $p$ 에서의 평형방정식은 다음과 같이 주어진다.

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

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

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

여기서,  $s$ 와  $p$  사이의 관계식은  $T = EA \left( \frac{dp}{ds} - 1 \right)$  이고,  $T$ 는 줄에 미치는 장력이고,  $E$ 는 영률 (Young's modulus)

이며,  $A$ 는 긴장되지 않은 줄의 단면적 ( $m^2$ )이다.  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ 는 줄의 한쪽 끝인  $s=0$ 에 작용하는 힘의 세 성분이며,  $F_x^i$ ,  $F_y^i$ ,  $F_z^i$ 는  $i$ 번째 줄 요소에 작용하는 외력의 성분이고,  $L$ 은 긴장되지 않은 줄의 길이이며,  $W$ 는 수중 중량이다. 끝줄에 대한 경계 조건은 Huang and Vassalos (1993)에 나타나 있다. 위 식으로부터 줄의 길이  $s_n$ 과  $s_{n+1}$  사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{단, } \Delta x(s_n) &= -\frac{V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i}{EA} (s_{n+1} - s_n) + \frac{L(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)}{W} \\ &\quad \left[ \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} - \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} \right] \\ \Delta y(s_n) &= -\frac{V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i}{EA} (s_{n+1} - s_n) + \frac{L(V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)}{W} \\ &\quad \left[ \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} - \sinh^{-1} \frac{-(V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)}{\sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2}} \right] \\ \Delta z(s_n) &= \frac{L}{2WEA} \left[ (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)^2 - (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})^2 \right] \\ &\quad + \frac{L}{W} \left[ \sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2 + (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_n)^2} \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{(V_x + \sum_{i=0}^n F_x^i)^2 + (V_y + \sum_{i=0}^n F_y^i)^2 + (V_z + \sum_{i=0}^n F_z^i + \frac{W}{L} s_{n+1})^2} \right] \end{aligned}$$

따라서, 신장된 줄의  $s_n$ 과  $s_{n+1}$  사이의 임의점 (s)에서  
의 줄의 좌표는 다음과 같이 주어진다.

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

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

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

2) 실물 전개판의 영각 추정법

Fig. 2는 트롤어구의 조업모식도를 나타내고 있다.

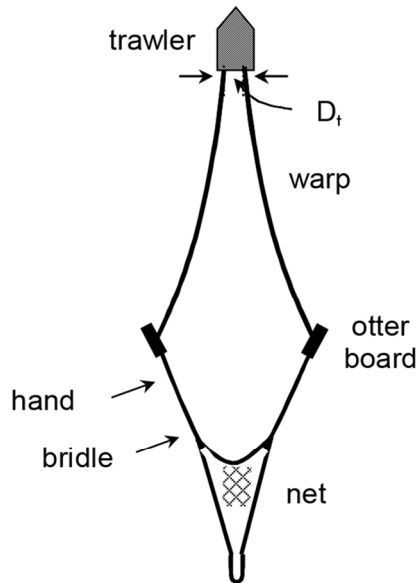


Fig. 2. An upper view of a trawl indicating the shape of the warp, hand rope, float line and lacing line.

전개판 (OB)의 양력 ( $L_{OB}$ )과 항력 ( $D_{OB}$ )은 양력과 항력계수 ( $C_L$  및  $C_D$ )를 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$L_{OB} = (1/2) C_L \rho S v^2 \quad (10)$$

$$D_{OB} = (1/2) C_D \rho S v^2 \quad (11)$$

$$\tan \theta = D_{OB} / L_{OB} \quad (12)$$

$$P = \sqrt{L_{OB}^2 + D_{OB}^2} = (1/2) Cr \rho S v^2 \quad (13)$$

여기서,  $\rho$  는 유체의 밀도 (해수인 경우  $105 \text{ kg/s}^2/\text{m}^4$ )

이고,  $S$ 는 전개판의 최대투영 면적 ( $\text{m}^2$ )이며,  $v$ 는 상대 유속 ( $\text{m/s}$ )이고  $Cr$ 은 양·항력의 합력계수이다.

전개판의 성능을 고려할 때 전개판의 전개력을 최대로 가정하여 측정된 자료에 대해 여러 가지 결과를 보고한 바가 있다 (Hu and Matuda, 1991). 그러나 전개판에 연결된 끌줄과 후릿줄에 미치는 장력이나 전개판의 전개력은 유속에 따라 변하기 때문에 상대적으로 놓인 상태가 달라지게 된다. 또 어로작업 중 전개판은 진동하며 복원력도 작용한다고 알려져 있다. 따라서 여기서는 전개판이 이들 힘에 의해 평형상태를 이루었을 때의 전개판의 영각을 추정하고자 한다. 예망할 때 전개판 주위에 미치는 힘은 Fig. 3과 같다.

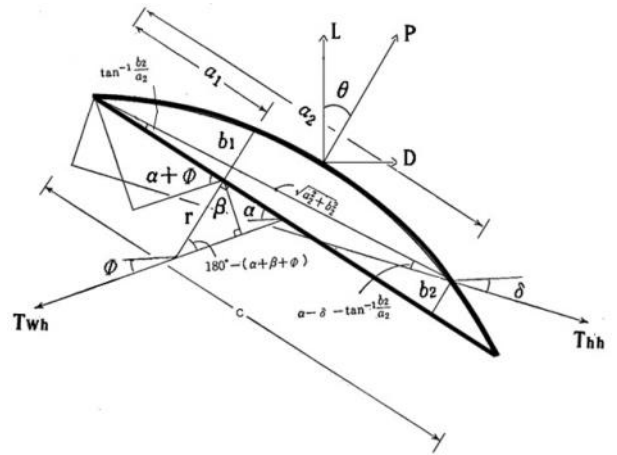


Fig. 3. The forces acting on a cambered otter board (OB). The  $T_{wh}$  is the horizontal force on the warp at the bracket,  $L$  and  $D$  are lift and drag forces on the otter board, respectively.  $T_{hh}$  is the horizontal force on the hand rope attached just behind the otter board and  $\alpha$  is the angle of attack of OB. The labels  $\phi$  and  $\delta$  represent the angles of attack of the warp at the bracket and the hand rope just behind the otter board, respectively.  $r$  is the length of bracket (Kawakami, 1981).

이 전개판을 중심으로 끌줄, 후릿줄 및 전개판에 작용하는 세 힘이 평형을 이루어, 전개판의 bracket에서 끌줄에 미치는 장력의 수평성분 ( $T_{wh}$ )이 어구의 진행방향과 이루는 각은  $\phi$  이고, 전개판 바로 뒤쪽의 후릿줄에 미치는 장력의 수평성분 ( $T_{hh}$ )은 진행방향과  $\delta$  각을 이루며, 전개판은 진행방향과 영각  $\alpha$  를 이루면서 수력저항  $P$ 를 받아 평형상태가 되었다고 하자. 이때 양항력의 합력이 양력과 이루는 각을 Fig. 3에서 보는 바와 같이  $\theta$  라 둔다. 세 힘이 평형상태가 되었을 때, 전개판에 미치는 수력저항과 끌줄, 후릿줄 및 전개판의 수평 분

력, 수직 분력 및 전개판에서의 모멘트 합이 평형을 이루어야 한다. 따라서 전개판과 줄에 미치는 수력저항(양·항력)의 수평, 수직 분력의 평형으로부터 식 (14)-(15)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{wh} \sin\phi + T_{hh} \sin\delta = L_{OB} \quad (14)$$

$$T_{wh} \cos\phi = T_{hh} \cos\delta + D_{OB} \quad (15)$$

그리고 전개판의 앞 끝을 기준으로 한 끌줄, 후릿줄 및 전개판에 의한 모멘트의 평형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{wh} [r \sin(180^\circ - (\alpha + \beta + \phi)) + a_1 \sin(\alpha + \phi)] = -M_{OB} + T_{hh} \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \sin(\alpha - \delta - \tan^{-1}(b_2/a_2)) \quad (16)$$

여기서  $M_{OB}$ 은 전개판의 모멘트이고,  $M_{OB} = 0.5 C_m \rho S V^2 c$  이며,  $C_m$  은 모멘트 계수,  $\rho$  는 유체의 밀도,  $S$ 는 전개판의 면적,  $V$ 는 상대유속,  $c$ 는 전개판의 현장 길이이다. 흐름에 수직인 줄에 미치는 항력은  $R = (1/2)C_d \rho AV^2$  (단,  $\rho$  는 유체의 밀도)로 나타낼 수 있으며, 줄의 항력계수 ( $C_d$ )는 Reynolds 수의 범위가  $5 \times 10^3 < Re < 2 \times 10^4$  인 범위 내에서  $C_d \approx 1.2$ 인 값을 사용하였다 (Sato and Miyazaki, 1984). 단,  $Re = Vd/\nu$  이고,  $V$ 는 예망속도,  $d$ 는 wire rope의 직경,  $\nu$  는 유체의 동점성계수이다. 그리고 해상 실험에서 측정된 전개판의 간격 (2 aob)은 식 (8)에 의한 끌줄의 진행방향에 대한 수평거리 (2 y(s))에 톱 롤러 간격(Dt)을 더한 값과 일치해야 한다. 즉,

$$aob = y(s) + Dt/2 \quad (17)$$

실물 저층트롤 어구의 특성을 파악하기 위해 1999년도에 군산대학 실습선으로 트롤어구에 만곡형 전개판을 부착하고, Scanmar 시스템을 사용하여 해상시험을 실시하였다 (Cho and Cho, 2000; Cho and Go, 2000). 해상시험시 끌줄 길이가 120 m일 때, 예망속력은 Table 1에서 보는 바와 같이 1.31-1.90 m/s 범위였고, 수심은 58.4 m였으며, 끌줄 길이가 180 m일 때, 예망속력 1.23-1.85 m/s 범위였고, 수심은 62.5 m였다. Fig. 4는 실물 전개판의 설계도인데 전개판의 높이는 2.72 m

였으며, 종횡비 (aspect ratio)는 1.7이었다. 만곡도 (camber ratio)는 13%였으며, 수중에서의 무게는 917 kg이었다. 전개판 면적은 Fig. 4의 사각형 면적인 4.35 m<sup>2</sup>의 97.5% (4.24 m<sup>2</sup>)였으나 편의상 100% 값을 사용하였다. 이 전개판에 대한 모형 크기는 1/10로 제작하였으며, 모형시험은 (구)백경공업 (현, BMInternational)의 회류수조 (Park et al., 2001)에서 전개판의 양·항력 계수값을 영각을 2° 마다 변화시키면서 측정하였다. 모멘트 계수는 측정해 놓은 것이 없어, Park and An (2002)이 수조 시험에서 측정된 만곡형 전개판의 종횡비가 1.5이고, 만곡도가 10%인 것과 15%인 것의 모멘트 값으로부터 보간하였다 (Park and An (2002)의 Fig. 6). 실물 전개판의 종횡비는 1.7로, 종횡비 1.5와는 약간의 차이가 있으나 근사하다고 보고, 실제 해상시험에서 작동 중이었던 만곡형 전개판의 영각을 추정하는데 사용하였다.

실제 트롤 조업에서 예망 중인 만곡형 전개판의 영각 (a)은 식 (16)으로부터 구할 수 있다 (Park, 2007; Park, 2005). 끌줄의 장력과 전개판의 간격은 현장에서 측정 한 값이었는데, Cho and Cho (2000)와 Cho and Go (2000)의 두 Table 2에서 끌줄 길이 네 가지 중 230 m와 260 m에서는 예망속도의 차이가 커서 제외하고, 120 m와 180 m의 측정 자료를 사용하였으며, 나머지는 어구설계도와 기존의 수조시험 결과 자료로부터 이용하였다 (Cho and Cho, 2000; Cho and Go, 2000; Park et al., 2001; Park and An, 2002).

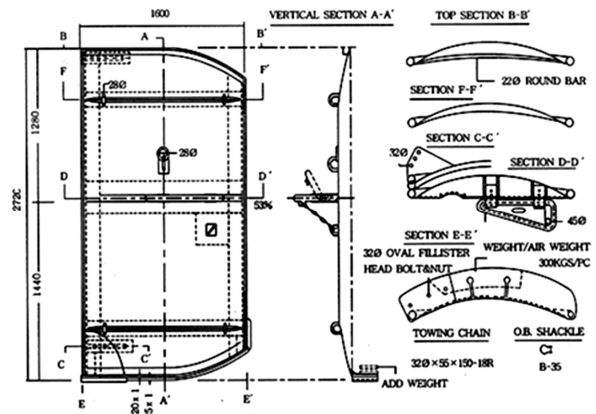


Fig. 4. Drawings of the otter board used in the bottom trawl experiment.

Table 1. Some recorded values of a bottom trawl test (from Cho and Cho, 2000; Cho and Go, 2000)

Length of warp (m)	Towing Speed (m/s)	Depth of bottom (m)	warp depth	Distance of otter board (m)	Measuring resistance of trawl gear (tom)	Height of net mouth(m)	Width of wing net (m)	Width Height
120	1.31	58.4	2.05	57.0	4.85	4.0	16.67	4.17
120	1.39	58.4	2.05	59.2	5.38	3.9	17.32	4.44
120	1.85	58.4	2.05	60.7	6.77	3.6	17.76	4.93
120	1.90	58.4	2.05	63.0	7.07	3.4	18.43	5.42
180	1.23	62.5	2.88	64.3	5.05	3.8	18.81	4.95
180	1.44	62.5	2.88	67.5	5.62	3.6	19.75	5.49
180	1.70	62.5	2.88	70.9	5.95	3.4	20.74	6.10
180	1.85	62.5	2.88	71.5	7.23	3.3	20.91	6.34

결과 및 고찰

이 연구에서 사용한 자료는 저층 트롤어구 해상시험에서 측정했던 결과인데, 두 논문 (Cho and Cho, 2000; Cho and Go, 2000)의 Table 2에서 끌줄의 길이 네 가지 중 120 m 및 180 m인 경우의 값들이 Table 1에 나타나 있다. 이 실험에 사용한 만곡형 전개판의 영각( $\alpha$ )에 따른 양력과 항력계수 ( $C_L$ ,  $C_D$ )는 (구)백경공업 수조 모형실험에서  $0\sim 40^\circ$  사이에서  $2^\circ$  마다 변화시키면서 구한 결과는 Fig. 5와 같이 나타났는데, 최대 양력이 되는 영각은  $22.6^\circ$ 였다.

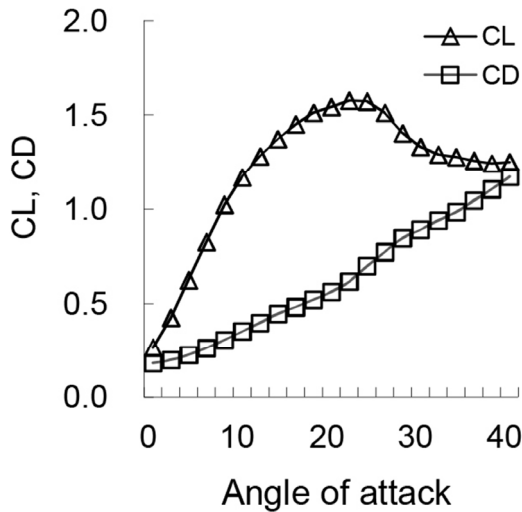


Fig. 5. A relationship between the lift (CL) and drag (CD) coefficients and the angle of attack of a cambered otter board (from Baek Kyung Ind. Co. Ltd. (Park et al., 2001)).

전개판의 영각( $\alpha$ )에 따른 양·항력의 합력 계수 ( $C_r$ )는 Fig. 6과 같이 나타났으며, 그 관계식들은 다음과 같

았다.

$$[0 \leq \alpha \leq 40] C_r = 0.00005 \alpha^3 - 0.00446 \alpha^2 + 0.13988 \alpha + 0.23109 \quad (n=21, R^2 = 1.0) \quad (18)$$

영각( $\alpha$ )가 변함에 따라 식 (13)의 합력 (P)이 양력 (L)과 이루는 각  $\theta$  와의 관계는 Fig. 7과 같이 나타났고,

$$[0 \leq \alpha \leq 30] \theta = 0.00025 \alpha^4 - 0.01727 \alpha^3 + 0.45320 \alpha^2 - 4.82592 \alpha + 33.8731 \quad (n=16, R^2 = 0.986) \quad (19)$$

$$[30 < \alpha \leq 40] \theta = -0.01096 \alpha^2 + 1.71340 \alpha - 7.77059 \quad (n=5, R^2 = 0.998) \quad (20)$$

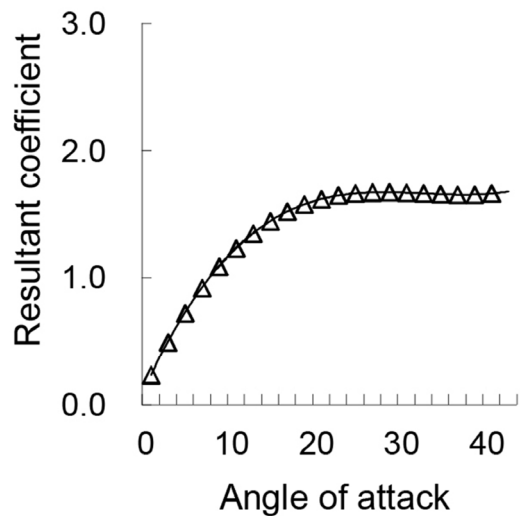


Fig. 6. A relationship between the coefficient of resultant force of lift and drag and the angle of attack of a cambered otter board.

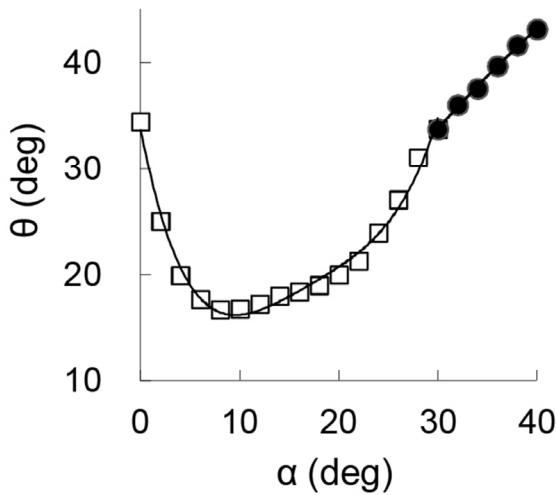


Fig. 7. A relationship between the angle of attack ( $\alpha$ ) of a cambered otter board and the angle ( $\theta$ ) which is the angle of arctangent of drag force divided by lift force. Square accounts for the angle between 0 and 30 degrees, and solid circle that angle between 30 and 40 degrees.

만곡형 전개판의 중횡비가 1.7이고 만곡도가 13%인 모멘트 계수값 ( $C_m$ )은, Park and An (2002)의 Fig. 6의 자료로부터 구하여 전개판의 영각( $\alpha$ )에 따라 나타내면 Fig. 8과 같았으며, 이들의 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$[0 \leq \alpha \leq 30] C_m = -0.00005 \alpha^3 + 0.00248 \alpha^2 - 0.02871 \alpha - 0.04214 \quad (n=16, R^2 = 0.991) \quad (21)$$

$$[30 < \alpha \leq 40] C_m = 0.00071 \alpha^2 - 0.05211 \alpha + 0.89564, \quad (n=5, R^2 = 1.0) \quad (22)$$

실물 전개판의 영각( $\alpha$ )을, 앞에서 말한 방법으로, 전개판에 미치는 힘과 모멘트의 평형으로부터 구한 결과 값을 끌줄의 길이가 120 m와 180 m일 때, 예망속도에 따라 나타내면 Fig. 9와 같았다. 전개판의 영각은 예망속도 1.23-1.90 m/s 범위에서 26.1-29.6°로 나타났고, 이 두 경우의 결과에 의하면 동일한 예망속도에서 끌줄이 길 때 영각이 약간 커진 경향을 보였다.

이 만곡형 전개판의 추정된 영각은 최대 전개력에 해당되는 영각 (22.6°)보다 약간 큰 값으로 나타났다. 여기서 사용한 모멘트 값은 중횡비가 약간 차이가 나는 경우 (중횡비 1.7 대신 1.5의 모멘트 계수값)이었기에 보다 정확하려면 중횡비가 같은 경우의 모멘트 값을 사

용하여 정도를 더 높일 필요가 있다.

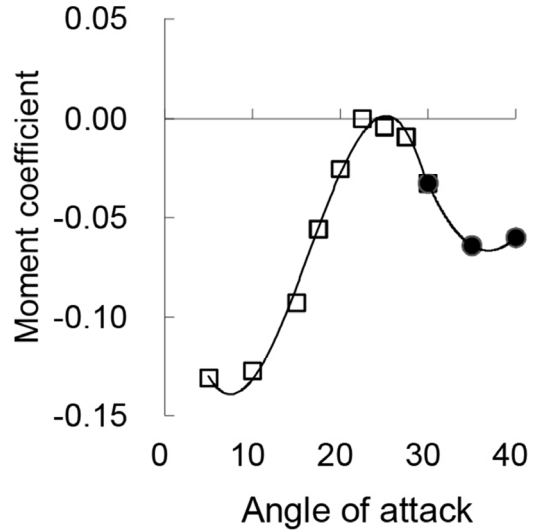


Fig. 8. A relationship between the coefficient of moment and the angle of attack of a cambered otter board. White square accounts for the angle between 0 and 30 degrees, and solid circle that angle between 30 and 40 degrees.

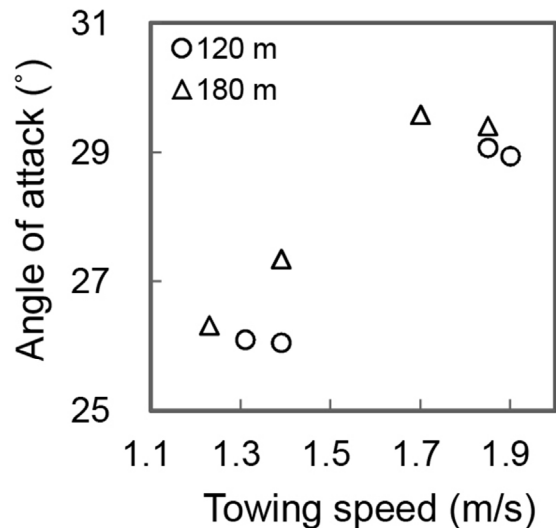


Fig. 9. An estimated angle of attack of a cambered otter board according to the relative towing speed. The labels  $\circ$  and  $\Delta$  indicate the length of warp of 120 and 180 m, respectively.

### 결론

해상 시험에서 실제 작동중인 트롤 전개판의 양력, 항력이나 영각을 파악하는 데는 장비라든지 비용에 애로점이 많다. 따라서 전개판 (otter board)의 성능을 파

악하는 데는 주로 모형을 제작하여 수조에서 전개판의 양력, 항력, 모멘트계수를 측정하여 그 성능을 파악하고 있는데, 이러한 수조실험의 결과에 대해 실제 현장 조업에서 직접 측정 비교한 것에 대해서는 평판형 전개판 이외에 거의 확인된 바가 없다. 이 연구에서는 실제 저층 트롤 해상시험에서 전개판 주위에서의 장력 측정값과 전개판 간격을 측정한 자료로부터 예망 중이었던 전개판의 영각을 추정하는 방법을 제안하였다. 이에 대한 예로서 실제 트롤시험에서 전개판 주위에 미치는 끌줄 및 후릿줄에 미치는 장력, 전개판에 미치는 수력저항의 수직, 수평 방향의 힘과 모멘트의 평형을 고려하여 전개판의 영각을 추정하였다.

전개판의 합력 계수 ( $Cr$ )와 영각 ( $\alpha$ )과의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$[0 \leq \alpha \leq 40] Cr = 0.00005 \alpha^3 - 0.00446 \alpha^2 + 0.13988 \alpha + 0.23109 \quad (R^2 = 1.0) \quad (23)$$

모형 만곡형 전개판의 영각에 따른 양력·항력 계수 ( $C_L$ ,  $C_D$ )로부터 진행방향에 대한 영각  $\alpha$  와 양력, 항력의 합력  $P$ 가 양력과 이루는 각  $\theta$  와의 관계는 다음과 같았다.

$$[0 \leq \alpha \leq 30] \theta = 0.00025 \alpha^4 - 0.01727 \alpha^3 + 0.45320 \alpha^2 - 4.82592 \alpha + 33.8731 \quad (R^2 = 0.986) \quad (24)$$

$$[30 < \alpha \leq 40] \theta = -0.01096 \alpha^2 + 1.71340 \alpha - 7.77059 \quad (R^2 = 0.998) \quad (25)$$

만곡형 전개판의 만곡도가 13%인 모멘트 계수 ( $C_m$ )와 전개판의 영각( $\alpha$ )과의 관계는 다음과 같았다.

$$[0 \leq \alpha \leq 30] C_m = -0.00005 \alpha^3 + 0.00248 \alpha^2 - 0.02871 \alpha - 0.04214 \quad (R^2 = 0.991) \quad (26)$$

$$[30 < \alpha \leq 40] C_m = 0.00071 \alpha^2 - 0.05211 \alpha + 0.89564 \quad (R^2 = 1.0) \quad (27)$$

끌줄의 길이가 120 m와 180 m일 때 예망속도에 따른 실물 만곡형 전개판의 추정된 영각은 속도 1.23-1.90 m/s 범위에서 26.1°-29.6°의 값으로, 최대 전개력에 해

당되는 영각 (22.6°)보다 약간 큰 값으로 나타났으며, 동일한 예망속도에서는 끌줄 길이가 길 때, 전개판의 영각이 약간 커진 경향이 나타났다.

## 사 사

이 논문에 대해 유익한 조언을 해주신 심사위원들께 감사드립니다.

## References

- Bae JH. 2000. Experiment with spread force characteristics of rotating circular cylinder. Master thesis. Pukyong National University, Korea. p. 35 (in Korean).
- Buxton NG and DeAlteris JT. 1993. Qualification of water flow and net drag in midwater trawls. *Fish Res* 16, 165-178. (doi:10.1016/0165-7836(93)90050-H)
- Chang JW. 1968. A study on one boat midwater trawl. *Bull Pusan Fish Coll* 8(1), 1-12..
- Chang JW and Seo DO. 1982. *Fishing Gear Engineering*. Shinhan, Busan,, p. 304 (in Korean).
- Cho BK and Cho SO. 2000. A study on the bottom trawl gear by the trial of a stern trawler I - On the resistance of a bottom trawl gear. *Bull. Kor Soc Fish Technol* 36(4), 274-280 (in Korean).
- Cho BK and Go GS. 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 Kor Soc Fish Technol* 36(4), 281-286 (in Korean).
- Crewe PR. 1964. Some of the general engineering principles of trawl gear design. *Modern fishing gear of the world-II*, Fishing News Ltd., 165-180.
- Engås A. 1994. The effects of trawl performance and fish behaviour on the catching efficiency of demersal sampling trawls. In: A. Fernö and S. Olsen, editors. *Marine fish behaviour in capture and abundance estimation*. Fishing News Books, Blackwall Science Ltd., London, pp. 45-68.
- FAO. 1974. Otter board design and performance. *FAO fishing manuals*, Rome, p. 82.
- Fridman AL. 1986. *Calculations for fishing gear designs*. FAO Fishing Manuals, Fishing News Books Ltd., Farnham, UK, pp 153-184 (revised by PJG Carrothers).
- Hu F and Matuda K. 1991. An analytical method of static characteristics of midwater trawl system. *Nippon suisan gakkaiishi* 57(4), 661-666 (in Japanese).
- Hu F, Oozeki Y, Tokai T and Matuda K. 2001. Scale model of a new midwater trawl system for sampling pelagic larval and juvenile fish. *Fish Sci* 67, 254-259.



- Huang S and Vassalos D. 1993. A semi-analytic treatment of three dimensional statics of marine cables. *Ocean Eng* 20(4), 409-420. (doi:10.1016/0029-8018(93)90004-2)
- Jang CS and Lee BG, 1996. A study on the midwater pair trawling-IV. *Bull. Korean Soc Fish Technol* 32(1), 7-15 (in Korean).
- Kawakami T. 1959. Development of mechanical studies of fishing gear. In *Modern Fishing Gear of the world I*, Kristjónsson H. (ed.), pp 175-184. FAO, Rome.
- Kawakami T. 1981. Introduction to Fisheries Analysis. Koseisa, Tokyo, p. 294. (in Japanese).
- Kim IJ and Lee CW. 1999. Analysis of the net mouth shape for a midwater trawl gear. *Bull Korean Soc Fish Technol* 35, 118-128 (in Korean).
- Ko KS, Kwon BG, Lee GH and Ro KD. 1991. Computation fluid analysis for the otter boards -3 Efficiency analysis of the single cambered otter boards for the various slot position. *Bull Korean Soc Fish Technol* 27(4), 278-285 (in Korean).
- Koyama T, Kudo T and Oba O. 1981. Drag and shear of the Süberkrüb type trawl boards. *Bull Nat'l Res Inst Fish Eng* 2, 95-103 (in Japanese).
- Kwon BG and Ko KS. 1994. Model test on the three-slot cambered otter board with accessories. *Bull Korean Soc Fish Technol* 30(2), 71-77 (in Korean).
- Lee BG, Kim JK, Choe JH and Chang HY. 1987. Study on the midwater trawl available in the Korean waters-IV. *Bull Korean Soc Fish Technol* 23, 6-10 (in Korean).
- Lee CW, Lee JH and Kim IJ. 2000. Application of a fuzzy controller to depth control of a midwater trawl net. *Fish Sci* 66(5), 858-862.
- Lee CW, Lee JW, Cha BJ, Kim HY and Lee JH. 2005. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation. *Ocean Eng* 32, 331-347. (doi:10.1016/j.oceaneng.2004.08.007)
- Lee CW, Zhang CI and Shin HO. 2001. simplified trawl system modeling and design of a depth control system using fuzzy logic. *Fish Res* 53, 83-94. (doi:10.1016/S0165-7836(00)00264-2)
- Lee GH, Lee CW, Kim YB, Pingguo H and Choe MY. 2008. Simulation of the virtual mackerel behavior to the trawl gear. *J Kor Soc Fish Technol* 44(1), 10-19 (in Korean).
- Lin J, Sato D, Nashimoto K and Yamamoto K. 1989. Efficiency and stability of saucer-shaped otter boards with changing attack angle and heel angle. *Nippon suisan gakkaiishi* 55(2), 295-300 (in Japanese).
- Matuda K (ed). 2001. Fishing gear physics. Seizando, Tokyo, p 226 (in Japanese).
- Matuda K, Hu F and Ishigawa S. 1990. Hydrodynamic characteristics of vertical V type otter board. *Nippon suisan gakkaiishi* 56(11), 1815-1820 (in Japanese).
- Matuda K, Hu F, Satoh K, Saotome Y and Kasuga I. 1991. Field experiment on static characteristics of midwater trawl system. *Nippon suisan gakkaiishi* 57(4), 655-660 (in Japanese).
- Park CD and An HC. 2002. A study on the static stability of the otter board in relation to the angle of attack. *Bull Korean Soc Fish Technol* 38(3), 234-240 (in Korean).
- Park HH. 1993. A tension measurement method of a towing cable or a buoy cable. *Ocean Eng* 20(2), 163-170. (doi:10.1016/0029-8018(93)90032-D)
- Park HH. 2005. An estimating method of the angle of attack of a vertical V-type otter board. *Bull Korean Soc Fish Technol* 41, 113-121 (in Korean).
- Park HH. 2007. A method for estimating the gear shape of a mid-water trawl. *Ocean Eng* 34, 470-478. (doi:10.1016/j.oceaneng.2006.03.001)
- Park HH. 2014. The geometrical gear shape of a bottom trawl. *Ocean Eng* 89, 53-61. (doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.06.034)
- Park HH, Cho BK, Go GS and Chang HY. 2008. The gear shape and cross section of sweep at mouth of a bottom trawl. *J Kor Soc Fish Technol* 44(2), 120-128 (in Korean).
- Park HH and Yae YH. 1999. Use of cable functions by Pote's analysis in a towing cable or a buoy cable. *Bull Korean Soc Fish Technol* 35(4), 353-358 (in Korean).
- Park KH, Lee JH, Hyun BS and Bae JH. 2001. The study on the hydrodynamic characteristics of the single slot cambered otter board. *Bull Korean Soc Fish Technol* 37(1), 1-8 (in Korean).
- Prat JJ, Antonijuan A, folch A, Sala A, Lucchetti A, Sardà F and Manuel A. 2008. A simplified model of the interaction of the trawl warps, the otterboards and netting drag. *Fish Res* 94(1), 109-117. (doi:10.1016/j.fishres.2008.07.007)
- Sangster GI and Breen M. 1998. Gear performance and catch comparison trials between a single trawl and a twin rigged gear. *Fish Res* 36, 15-26. (doi:10.1016/S0165-7836(98)00086-1)
- Sato K and Miyazaki Y. 1984. A study on an approximate calculation for towing fishing gears. *Bull Japanese Soc Sci Fish* 50(5), 793-804 (in Japanese).
- Stewart PAM and MacLennan DN. 1987. Fishing gear technology. In: Bailey, R.S., Parrish, B.B. (Eds.), *Developments in fisheries research in Scotland*, Fishing News Books, Surrey, pp. 123-138.
- Süberkrüb F. 1959. Otter boards for pelagic trawling. *Modern fishing gear of the world-I*, Fishing News Ltd., 359-360.

---

2014. 10. 7. Received

2014. 11.22. 1st Revised

2015. 1. 5 2nd Revised

2015. 2.17. Accepted