

중만곡 V형 전개판의 영각 추정법

박해훈

동해수산연구소

An Estimating Method of the Angle of Attack of a Vertical V-type Otter Board

Hae-Hoon PARK

East Sea Fisheries Research Institute

How to estimate the angle of attack of a vertical V-type cambered otter board was described. A three-dimensional semi-analytic treatment of a towing cable system was applied to the field experiments of a midwater trawl obtained by the Scanmar system. Also the equilibrium condition of the horizontal component and vertical component of forces and moment around the otter board was used. When the warp length was 300m long and the towing speed was between 2.61 and 3.86 knots, the estimated angle of attack of the otter board was ranged between 24.7° and 26.2°, though the maximum lift force was at the angle of attack 22°.

Key words : otter board(전개판), angle of attack(영각), lift and drag forces(양·항력), moment(모멘트), three dimensional cable analysis(3차원 줄해석)

서론

트롤어업은 능동적이고 규모가 큰 어업일 뿐만 아니라 자원조사에도 매우 중요한 역할을 하고 있다. 조업 수층은 대상어에 따라 표층, 중층 및 저층으로 다양하며, 어로작업은 평탄한 지형에서 뿐만 아니라 해저산이나 수중절벽 및 심해에서도 행해진다. 해저의 미생물 발생 등 안정된 해저 생태계를 보호하기 위해 어구의 발줄이 해저에 닿지 않도록 하는 조업방법도 행해지고 있다.

트롤어구는 끌줄, 전개판 및 그물 등으로 구성되어 있다. 일반적으로 줄을 간편하게 해석하기 위하여 종종 직선으로 가정하기도 하였으나, 끌줄에 관하여 Pode가 2차원적으로 해석하였고(川上, 1981; 장과 서, 1982; Park, 1993; 박과 윤, 1995; 박과 예,

1999; 松田, 2001), Huang and Vassalos(1993)는 줄에 관해 신장을 포함하여 간이 해석적으로 3차원식을 유도하였다. 전개판에 대한 연구로서는 평판형에 관한 것(Crewe, 1964; 金, 1981; 朴과 安, 2002)과 만곡형에 관한 것(Süberkrüb, 1959; FAO, 1974; 小山 등, 1981; 松田 등, 1990; 권, 1993; 朴 등, 1994; 박 등, 2001), 원형, 복엽형(複葉型)(福田 등, 1997) 및 그외 회전실린더의 전개력에 관한 것(배, 2000)이 있으며, 그물에 관해서는 해상실험이나 모형실험을 통해 여러 사람에 의해 연구되어 왔다(張, 1968; 川上, 1981; 장과 서, 1982; Fridman, 1986; 三浦 등, 1991; 松田 등, 1991; 胡와 松田, 1991; Buxton and DeAlteris, 1993; 芮와 李, 1993; Engås, 1994; 張과 李, 1996; Sangster and

Corresponding author : hhpark@nfrdi.re.kr

Breen, 1998; 金과 손, 1999; 조와 고, 2000; Lee et al., 2000, 2001; 박과 윤, 2001, 2002).

전개판은 트롤어구에 있어서 그물의 입구를 좌우로 전개시켜 어군을 입망시키고 어구를 수중으로 신속히 가라앉히게 하는 매우 중요한 역할을 한다. 전개판의 전개력과 항력에 관한 성능은 전개판의 종류에 따라 다르며, 이들의 성능과 특성에 관해 여러 가지가 보고되어 있다(Crewe, 1964; FAO, 1974).

전개판의 성능을 파악하는 데는 실물로써 측정하는 것이 바람직하나, 현장작업이나 수중에서의 측정 기술 및 장비 면에서 실제 예상중인 트롤어구의 각 부분과 전개판의 영각을 측정하는 것은 쉽지 않은 일이기에, 주로 모형을 제작하여 수조에서 전개판의 양력계수, 항력계수, 모멘트계수 등을 측정하여 그 성능을 파악하고 있다. 그러나, 이러한 수조실험에 의한 결과가 현장에서 어떠한 차이만큼 적용되었는지에 대해 국내에선 아직까지 거의 확인된 바가 없고, 외국의 경우에는 실물 평판형 전개판에 대해서 영각을 측정 한 사례가 있다(Crewe, 1964).

본 연구에서는 작업 중의 실물 종만곡 V형 전개판의 영각을 추정하고자 하였다. 이에 사용한 자료는 松田 등(1991)이 실물 중층트롤 어구의 특성을 조사하기 위해 해상실험에서 Scanmar (노르웨이 Simrad사) 시스템으로 여러가지 요소를 측정한 자료와 수조에서 종만곡 V형 전개판에 대한 모형실험 자료(松田 등, 1990)를 이용하였다. 본 연구에서 행한 전개판의 영각 추정법은 Huang과 Vassalos(1993)가 줄에 관해 간이 해석적(semi-analytic)으로 된 3차원 해석을 이용하여 중층트롤 어구시스템의 끌줄에 적용시키고, 끌줄 및 후릿줄에 미치는 장력과 전개판에 미치는 수력저항의 수평, 수직 방향의 힘의 평형과 모멘트를 고려하여 전개판의 영각을 추정하는 것이다.

자료 및 방법

끌줄의 3차원 해석

줄에 대해 비틀림이 없고, 줄이 유연하여 장력 이외에 다른 관성력(inertia force)이 없으며 줄이 균일하다는 가정 하에, Huang과 Vassalos(1993)는 다음과 같이 3차원적으로 각각의 좌표에 대한 식을

유도하였는데 여기서 간단히 나타내면 다음과 같다.

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

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

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

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

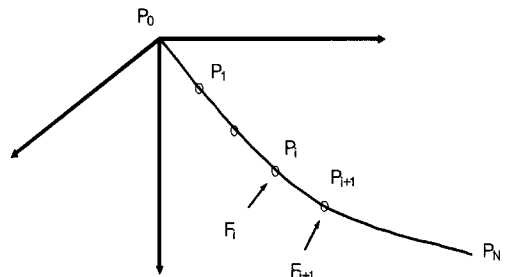


Fig. 1. Three dimensional coordinate system.

여기서, T 는 줄에 미치는 장력이고, 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 수중중량이다. 위 식으로부터 줄의 길이 s_n 과 s_{n+1} 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

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

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

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

단,

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

여기서, E는 영률(Young's modulus)이고, A는 긴장되지 않은 줄의 단면적(m²)이다.

따라서, 신장된 줄의 s_n과 s_{n+1} 사이의 임의점(s)에서의 줄의 좌표는 다음과 같이 주어진다.

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

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

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

실물 전개판의 영각 추정법

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

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

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

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

$$P = \sqrt{L_{OB}^2 + D_{OB}^2} \quad (13)$$

단, ρ는 유체의 밀도(해수인 경우 105kg·s²/m⁴)이고, S는 전개판의 최대투영 면적(m²)이며, v는 상대유속(m/s)이다.

松田 등(1990)은 중만곡 V형 전개판에 대한 모형실험으로부터 전개판의 영각에 따른 양력계수와 항력계수 및 모멘트 계수를 구하였다. 그리고 松田 등(1991)이 실물 중만곡 V형 전개판을 중층트롤 어구에 연결하여 Scanmar 시스템을 이용하여 매우 상세한 해상실험을 실시하였다. 해상실험에서 사용한 세 가닥으로 된 그물목줄(bridle)은 계산의 편리를 위해 한 가닥으로 취급하였으며, 그물 깊이는 천장망 깊이에 망고의 1/2을 합한 것으로 계산하여, 여러 가지 측정된 자료에 대해 胡와 松田(1991)은 전개판의 전개력을 최대로 가정하여 줄에 대해 신장 없이 3차원적으로 해석하고 여러 가지 결과를 보고한 바가 있다. 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. 중층트롤 어구를 간단히 도식화하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있고, 후릿줄의 형상은 $y_r = Ax_r^B$ 의 형태로 가정하였다. 이 식에 의한 전개판의 간격은 식(8)에서 구한 값과 일치하여야 한다(박과 윤, 2002).

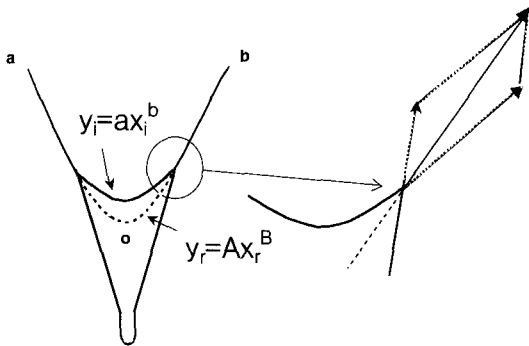
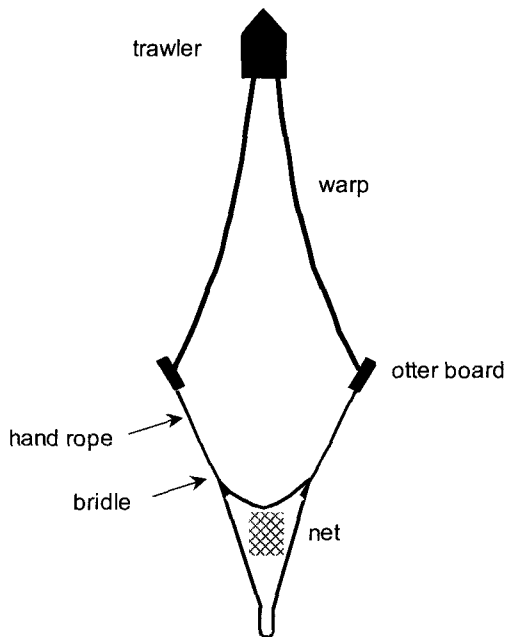


Fig. 2. An upper view of a midwater trawl indicating the shape of a resultant force (dotted line) of float, ground ropes and lacing line.

Fig. 3은 松川 등(1990)이 모형 실험한 종만곡 V형 전개판을 나타내고 있다. 전개판 주위에 미치는 힘은 Fig. 4에 나타나 있다. 이 전개판을 중심으로 끌줄, 후릿줄 및 전개판에 작용하는 세 힘이 평형을 이루어, 끌줄에 미치는 장력의 수평성분(T_{wh})이 어구의 진행방향과 이루는 각은 ϕ 이고, 후릿줄에 미치는 장력의 수평성분(T_{rh})은 진행방향과 δ 각을 이루며, 전개판은 진행방향으로부터 영각 α 를 이루면서 수력저항 P 를 받아 평형상태가 되었다고

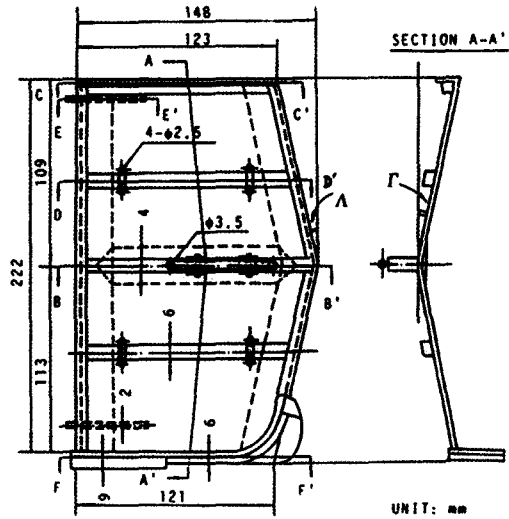


Fig. 3. Schematic diagram of the vertical V type otter board model with a dihedral angle and a sweepback angle. (From Matuda et al., 1990)

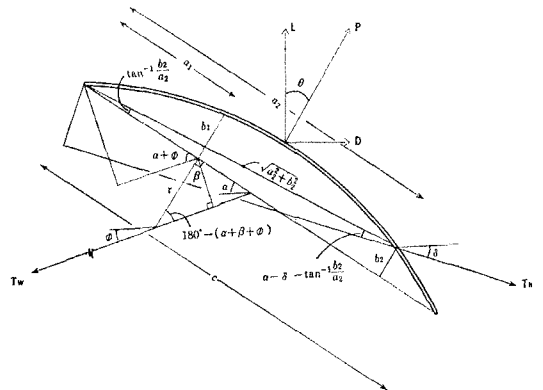


Fig. 4. The forces acting on a cambered otter board.

하자. 이때 양·항력의 합력이 양력과 이루는 각을 Fig. 4에서 보는 바와 같이 θ 라 둔다. 세 힘이 평형상태가 되었을 때, 전개판에 미치는 수력저항과 끌줄, 후릿줄 및 전개판의 수평 분력, 수직 분력 및 모멘트의 합이 평형을 이루어야 한다.

전개판에 미치는 수력저항(양·항력) 및 줄에 미치는 장력의 수평, 수직 분력의 평형은 식(14) 및 (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 식(16)과 같이 나타낼 수 있다.

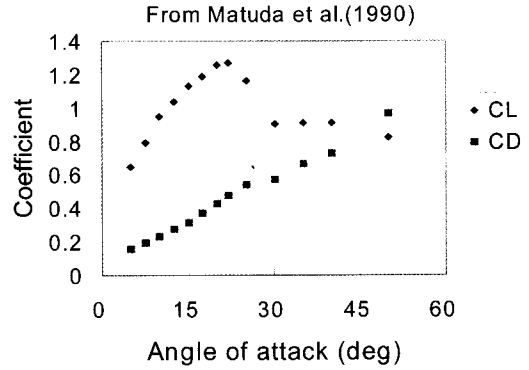
$$T_{wh} [r \sin(180^\circ - (\alpha + \beta + \phi)) + a_1 \sin(\alpha + \phi)] = -M_{OB} + T_{hh} \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \sin(\alpha - \delta - \tan^{-1}(b_2/a_2)) \quad (16)$$

여기서 M_{OB} 은 전개판의 모멘트이고, $M_{OB} = 0.5 C_m \rho S V^2 \cdot c$ 이며, C_m 은 모멘트 계수, ρ 는 유체의 밀도, S 는 전개판의 면적, V 는 상대유속, c 는 전개판의 현장 길이이다.

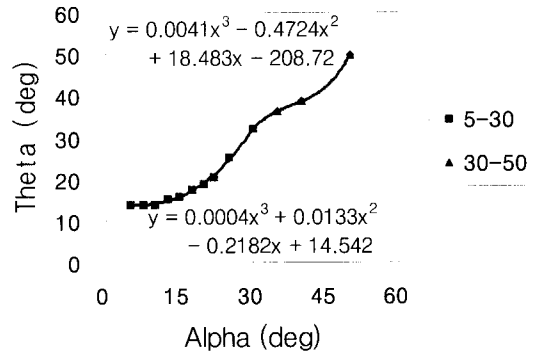
전개판의 전개력을 가정할 때 여러 가지 여건상 실제로 측정하기 어려운 경우가 많기 때문에 최대 전개력을 가정하여 사용하는 경우도 있으나(胡와 松田, 1991), 여기서는 松田 등(1991)이 어구 성능과 관련하여 측정한 여러 가지 값들에 대하여 박과 윤(2002)에서 논한 방법과 전개판에 대한 모멘트의 평형을 적용하여 실제 작동 중인 실물 종만곡 V형 전개판의 영각을 추정하였다.

결과 및 고찰

松田 등(1990)은 수조에서 모형 종만곡 V형 전개판의 특성에 관하여 영각에 따른 양력·항력계수 및 양항비(C_L , C_D 및 C_L/C_D)와 모멘트계수 값을 측정하였다. 이것으로부터 진행방향에 대한 영각 α 와 양·항력의 합력(P)이 양력 방향과 이루는 각 θ 와의 관계는 Figs. 5 (a) 및 (b)에서 보는 바와 같이 식(17)로 나타낼 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 5. (a) A relationship between the lift (C_L) and drag (C_D) coefficients and angle of attack of a vertical V-shaped otter board (from Matuda et al., 1990).

(b) A relationship between the angle of attack (alpha) of a otter board and the theta which is the angle of arctangent of drag force divided by lift force. Square accounts for the angle between 5 and 30 degrees, and triangular that angle between 30 and 50 degrees.

$$[0 < \alpha \leq 30] \quad \theta = 0.0004 \alpha^3 + 0.0133 \alpha^2 - 0.2182 \alpha + 14.542 \quad (R^2 = 0.998) \quad (17-1)$$

$$[30 < \alpha \leq 50] \quad \theta = 0.0041 \alpha^3 - 0.4724 \alpha^2 + 18.483 \alpha - 208.72 \quad (R^2 = 1) \quad (17-2)$$

그리고 松田 등(1990)이 측정된 전개판의 영각(α)에 따른 모멘트계수(C_m) 값은 Fig. 6에서와 같고, 이들의 관계식은 영각의 범위에 따라 식(18)처럼 나타낼 수 있었다.

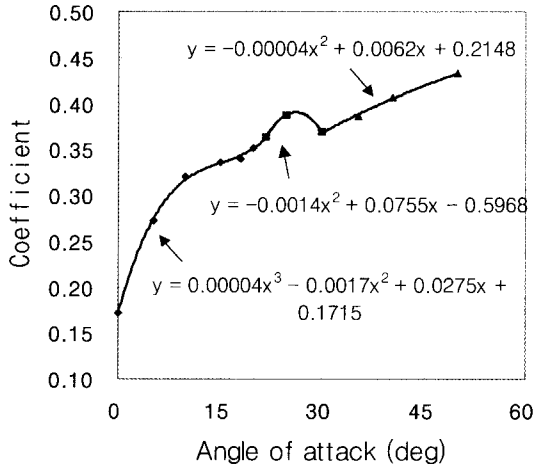


Fig. 6. A relationship between the coefficient of moment and the angle of attack of a vertical V-shaped otter board.

$$[0 < \alpha \leq 22] \quad C_m = 0.00004 \alpha^3 - 0.0017 \alpha^2 + 0.0275 \alpha + 0.1715 \quad (R^2 = 0.998) \quad (18-1)$$

$$[22 < \alpha \leq 30] \quad C_m = -0.0014 \alpha^2 + 0.0755 \alpha - 0.5968 \quad (R^2 = 1) \quad (18-2)$$

$$[30 < \alpha \leq 50] \quad C_m = -0.00004 \alpha^2 + 0.0062 \alpha + 0.2148$$

$$(R^2 = 0.997) \quad (18-3)$$

松田 등(1991)은 중층트롤에 관한 상세한 해상 시험을 실시하였다. 사용된 실물 전개판은 중형비 1.67, 높이 2.71m, 수중중량이 935kg이었고, 뜰의 부력은 544.5kg, 체인으로 된 침자의 침강력은 548kg였다. 해상실험에서 각 요소를 측정할 때 어구의 전장망 깊이, 망고, 전개판의 깊이, 후릿줄(hand rope)의 장력, 날개그물의 간격은 노르웨이의 Simrad사가 제작한 Scanmar(catch control) 시스템으로 측정하였고, 끌줄의 장력은 선미의 톱롤러에서 로드셀(load cell)로 측정하였으며, 예망 속도는 송수과기 아래쪽 15m 수층에서 상대속도를 측정하였다. 끌줄의 길이가 300m일 때의 측정자료가 Table 1(松田 등, 1991)에 나타나 있는데, 좌우측 측정값들이 조류 등의 이유로 일치하지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 이들 좌우측 측정값의 평균값을 사용하였다. 그리고, 흐름에 수직인 줄에 미치는 항력은 $R = (1/2)C_d \rho AV^2$ (단, ρ 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(佐藤와 宮崎, 1984). (단, $Re = Vd/\nu$. 여기서, V 는 예망속도, d 는 wire rope의 직경, ν 는 유체의 동점성계수).

실물 전개판의 영각(α)은 전개판에 대한 모멘트의 평형식 (16)이 성립하도록 전개판의 영각을 식 (18)로부터 구하였는데, 그 결과로서 끌줄의 길이가 300m일 때 유속에 따른 실물전개판의 영각이 Fig. 7에 나타나 있다. 이 종만곡 V형 전개판의 경우 끌줄 길이가 300m일 때 유속(2.61~3.86kts) 범위에서 전개판의 영각은 수조실험에서 구한 최대 전개력에 해당되는 영각(22°)보다 약간 큰 값(24.7°~26.2°)으로 나타났다.

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

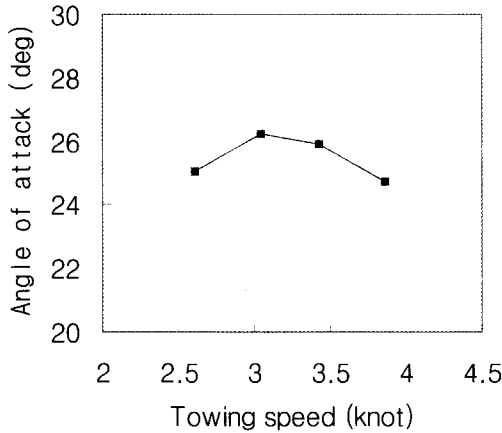


Fig. 7. An estimated angle of attack of a vertical V-shaped otter board according to the relative towing speed

결 론

전개판의 성능을 파악하는 데는 주로 모형을 제작하여 수조에서 전개판의 양력계수, 항력계수, 모멘트계수 등을 측정하여 그 성능을 파악하고 있다. 그러나, 이러한 수조실험의 결과에 대해 실제 현장 조업에서 적용된 경우 어떠한지에 대해서는 거의 확인된 바가 없다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 모형(松田 등, 1990) 및 실물 종만곡 V형 전개판(otter board)의 해상실험(松田 등, 1991) 자료로부터 영각을 구하기 위해, 전개판 주위에 미치는 끌줄 및 후릿줄에 미치는 장력과 전개판에 미치는 수력저항의 수직, 수평 방향의 힘과 모멘트의 평형을 고려하므로써 전개판의 영각을 구하였다.

먼저, 모형 종만곡 V형 전개판의 영각에 따른 양력·항력계수의 비로부터 진행방향에 대한 영각 α 와 양·항력의 합력(P)이 양력과 이루는 각 θ 와의 관계는 다음과 같았다.

$$[0 < \alpha \leq 30] \quad \theta = 0.0004 \alpha^3 + 0.0133 \alpha^2 - 0.2182 \alpha + 14.542$$

$$(R^2 = 0.998)$$

$$[30 < \alpha \leq 50] \quad \theta = 0.0041 \alpha^3 - 0.4724 \alpha^2 + 18.483 \alpha - 208.72$$

$$(R^2 = 1)$$

그리고 전개판의 영각(α)에 따른 모멘트 계수(C_m)값의 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$[0 < \alpha \leq 22] \quad C_m = 0.00004 \alpha^3 - 0.0017 \alpha^2 + 0.0275 \alpha + 0.1715$$

$$(R^2 = 0.998)$$

$$[22 < \alpha \leq 30] \quad C_m = -0.0014 \alpha^2 + 0.0755 \alpha - 0.5968$$

$$(R^2 = 1)$$

$$[30 < \alpha \leq 50] \quad C_m = -0.00004 \alpha^2 + 0.0062 \alpha + 0.2148$$

$$(R^2 = 0.997)$$

위의 관계식들을 사용하여 전개판에 대한 모멘트의 합력이 평형이 되도록 하여 구한 실물 전개판의 영각은 끌줄의 길이가 300m일 때 유속 2.61~3.86kts 범위에서 24.7°~26.2°로 나타났으며, 수조실험에서 구한 최대 전개력에 해당되는 영각(22°)보다 약간 큰 값으로 나타났다.

사 사

종만곡 V형 전개판 및 해상 실험에 관한 자료를 보내주시면서 도움 말씀 주신 (당시) 日本 東京水産大學 松田 皎教授님께 깊은 感謝를 드리고, 전개판과 관련하여 도움 주신 예영희님과 국립수산과학원 배재현 연구사님께 感謝드리며, 논문을 다듬어 주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 권병국(1993) : 전개판의 유체역학적 특성에 관한 연구. 부산수산대학교 수산학박사 학위논문.
- 金人安(1981) : 트롤어구의 전개판 설계이론에 관하여. 여수수전대연구보고 2, 9-13.
- 金仁振·李春雨(1999) : 중층트롤 어구의 망구형상 해석. 한국어업기술학회지 35(2), 118-128.
- 박경현·이주희·현범수(2001) : 단일 슬롯 만곡형 전개판의 유체역학적 특성에 관한 연구. 한국어업기술학회지 37(1), 1-8.
- 朴倉斗·松田 皎·東海 正(1994) : 水素氣泡發生法

- による彎曲板の周りの流れの可視化. 日水誌 60, 193-199.
- 朴倉斗·安熙瑛(2002) : 迎角의 변화에 대한 전개판의 靜的 安定性 研究. 한국어업기술학회지 38(3), 234-240.
- 박해훈·윤갑동(1995) : 음향위치 시스템을 이용한 줄의 장력측정법과 신장을 고려한 끝줄의 형상 해석. 국립수산진흥원 연구보고 49, 175-185.
- 박해훈·예영희(1999) : 끝줄 및 부이줄에 있어서 PODE해석에 의한 줄함수의 이용. 한국어업기술학회지 35(4), 353-358.
- 박해훈·윤갑동(2001) : 중층트롤 어구의 그물저항과 전개판 각적. 한국수산학회지 34(3), 238-244.
- 박해훈·윤갑동(2002) : 중층트롤의 어구형상과 그 변화. 한국어업기술학회지 38(3), 209-216.
- 배재현(2000) : 회전원형 실린더의 전개력 특성에 관한 실험. 부경대학교 수산학석사 학위논문. 35p.
- 芮英姬·李秉錡(1993) : 로프 트롤그물의 기본성능에 관한 모형실험. 한국어업기술학회지 29(3), 200-213.
- 張志元(1968) : 中層트롤의 研究. 부산수산대학교 연구보고 8(1), 1-12.
- 張志元·徐斗玉(1982) : 漁具T學. 신한출판사, 304p.
- 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. 어업기술 32(1), 7-15.
- 조봉곤·고광수(2000) : 실선 시험에 의한 저층트롤 어구에 관한 연구 - II. 어구의 수중형상에 관하여. 한국어업기술학회지 36(4), 281-286.
- 福田賢吾·松田 皎·胡 夫祥·東海 正(1997) : 複葉型オッターボードの流体特性に關する模型實驗. 日水誌 63(2), 207-212.
- 三浦汀介·清水普·西山作藏(1991) : 中層トロールシステム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.
- 小山·工藤·大場(1981) : オッターボードの抵抗および展開力について. 水産工學研究所報告 第2号, 95-103.
- 松田 皎·胡 夫祥·石沢 聡(1990) : 縱彎曲V型オッターボードの流体特性. 日水誌 56(11), 1815-1820.
- 松田 皎·胡 夫祥·佐藤 要·五月女雄二郎春田 功(1991) : 中層トロールシステムの靜的特性に關する海上實驗. 日水誌 57(4), 655-660.
- 松田 皎(2001) : 漁具物理學. 225p
- 川上太左英(1981) : 漁業解析入門. 恒星社厚生閣, 294p.
- 胡 夫祥·松田 皎(1991) : 中層トロールシステムの靜的特性の解析法. 日水誌 57(4), 661-666.
- Buxton, N.G. and J.T. DeAlteris(1993) : qualification of water flow and net drag in midwater trawls. Fisheries Research 16, 165-178.
- Crewe, P.R.(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, 45-68.
- FAO(1974) : Otter board design and performance. FAO fishing manuals, Rome, 82p.
- Fridman, A.L.(1986) : Calculations for fishing gear designs. FAO Fishing Manuals, Fishing News Books Ltd., 153-184.
- Huang, S. and D. Vassalos(1993) : A semi-analytic treatment of three dimensional statics of marine cables. Ocean Engineering 20(4), 409-420.
- Lee, C.W., Lee, J.H. and Kim, I.J.(2000) : Application of a fuzzy controller to depth control of a midwater trawl net. Fisheries Science 66(5), 858-862.
- Lee, C.W., Zhang, C.I., Shin, H.O.(2001) : Simplified trawl system modeling and design of a depth control system using fuzzy logic. Fisheries Research 53, 83-94.
- Park, H.H.(1993) : A tension measurement method of a towing cable or a buoy cable.

중만곡 V형 전개판의 영각 추정법

Ocean Engineering 20(2), 163-170.
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.

Süberkrüb, F.(1959) : Otter boards for pelagic trawling. Modern fishing gear of the world-I, Fishing News Ltd., 359-360.

2005년 3월 8일 접수

2005년 4월 20일 수리