중 층 트 롤 의 깊 이 바 꿈

張 志 元

(부 산 수 산 대 학)

1. 머 릿 말

중층트롤에 있어서 가장 중요한 문제는 그물을 목적하는 깊이에 마음대로 옮기는 일과 그 결과를 즉시 알아내는 일이다. 이것과 어탐과의 병용으로 효율적이고 정확한 어획을 할 수 있게 된다. 따라서 여기에 그물을 목적하는 깊이에 옮기는 문제에 관하여 논하고저 한다.

대개의 경우는 끌배(曳船의)의 속도를 바꾸어서 그 목적을 달성하고 있으나, 선속을 심하게 바꾸면 그물의 어귀높이가 변화하므로 어족의 입망(入網)을 지해할 우려가 있다. 따라서 선속을 일정하게 해 두고 적당한 방법으로 그물을 목적하는 임의의 깊이에 옮기는 방법을 생각하기로 하였다. 첫째로는 끌줄의 길이를 바꾸어서 그물이 물 밑에 잠기는 깊이를 변화시키는 방법을 생각할 수 있다. 둘째는 끌줄(曳綱)끝에 무게를 매달아 침하시키는 방법을 생각할 수 있다. 셋째는 무게 대신에 수평으로 하이드로포일(Hydrofoil)을 장치하여 먼 부림(Remote Control)으로 그 영각(迎角)을 변화시켜 윗 또는 아래 방향의 양력(揚力)을 얻어서 깊이를 바꾸는 방법을 생각할 수 있다. 넷째는 앞의 세 방법을 혼용하는 방법이다. 각 방법마다 장단이 있을 것이나 어로에 있어서는 효과적이고 용이하여야 한다. 끌줄을 길게 내려보내는 것은 용이하나 예항중(曳航中)에 끌어 올리는 것은 여간한 일이 아니다. 무게를 해양관측구의 메센저(Messenger)처럼 끌줄에 따라서 내려보내는 것은 쉬우나 끌어 올리는 일은 트롤윈치를 이용하는등 동력을 쓰야 할 것으로 생각된다. 목적하는 어군의 속도에 따라서는 좋은 기동력을 발휘해야 하므로, 어로기계를 고려하여, 기동성은 최대의 효과를 올릴 수 있는 어로 작업에 응답하는 방법이어야 한다. 따라서 어족의 어구에 대한 반응행동이 어구에 있어서 매우 중요한 문제로 등장한다. 그러나 여기서는 끌그물(예망)의 그물의 깊이바꿈에 관한 이론만을 다루기로 한다.

2. 깊이바꿈에 관한 이론

Fig. 1에서 (a)는 수중에서 끌줄이 수류저항을 받아 Catenary상으로 되었다고 볼때 끌줄의 선밀도W와 길이 S, 그리고 최하단인 끌줄끝에 걸리는 장력 T_o등에 의한 근사적(近似的)방법을 생각하는 경우이며, (b)는 끌줄이 수류저항을 받아 단위길이당 $R\sin^2\theta$의 힘이 줄에 수직으로 작용하고, 줄의 무게가 단위길이당 $W\sin\theta$의 힘을 줄의 접선 방향으로 작용하기 때문에 Catenary상이 된다고 볼때 끌줄의 임의의 일점에 있어서의 힘의 Balance에 의한 이론적방법을 생각하는 경우이다.

끌줄의 최하단점(끝)을 원점으로 하여 수평 및 수직방향을 x 및 y축으로하고, 원점으로 부터 끌줄의 임의의 일점까지의 거리를 s, 이 점에 있어서 장력은 T, 선요소 ds가 x축과 이루는 각도를 θ, 원점에 있어서의 장력을 T_o, 각도를 θ_o, 끌줄의 단위길이당의 무게를 W, 원점에 부가한 추의 무게를 W_o라고 하면 Fig. 1 (a)에서,

$$\left.\begin{aligned} T\sin\theta &= T_o\sin\theta + Wn + Ws = W_o + Ws \\ T\cos\theta &= T_o\cos\theta_o \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

이므로

$$\tan\theta = \frac{W_o + Ws}{T_o\cos\theta_o} \quad (2)$$

이다

지금 $\dfrac{W_o}{T_o\cos\theta_o} = a$, $\dfrac{W}{T_o\cos\theta_o} = b$, $\dfrac{dy}{dx} = \tan\theta$ 라고 놓으면

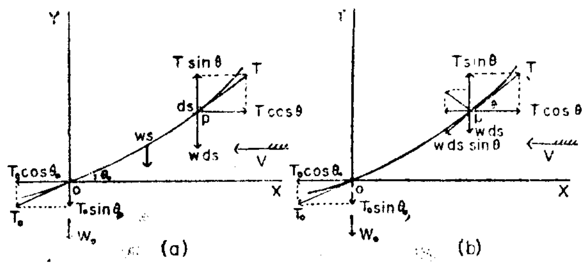

Fig. 1 The balance of catenaries

$$\frac{dy}{dx}=a+bs \cdots\cdots (3)$$

$ds=\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$ 이므로 $=\sqrt{1+(a+bs)^2}dx$ 이다.

변수를 분리하면 $\frac{ds}{\sqrt{1+(a+bs)^2}}=dx$ 이고, 적분하면, $x=\frac{1}{b}\left\{\text{Sinh}^{-1}(a+bs)-\text{Sinh}^{-1}a\right\}$이다.

단 $s=0$일때 $x=0$ 이다. 따라서 s는

$$s=\frac{1}{b}\left\{\text{Sinh}(bx+\text{Sinh}^{-1}a)-a\right\} \cdots\cdots (4)$$

(3) 에서 $\frac{dy}{dx}=\text{Sinh}(bx+\text{Sinh}^{-1}a)$이고, y는, $y=\frac{1}{b}\left\{\text{Cosh}(bx+\text{Sinh}^{-1}a)-\text{Cosh}\,\text{Sinh}^{-1}a\right\}$ (5)

(4)와 (5)에서 $y=\frac{1}{b}\left\{\sqrt{1+(a+bs)^2}-\sqrt{1+a^2}\right\} \cdots\cdots (6)$

Fig. 1 (b)에서

$$\left.\begin{aligned}\frac{dT}{ds}&=W\text{Sin}\theta\\ T\frac{d\theta}{ds}&=W\text{Cos}\theta-R\sin^2\theta\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (1)'$$

(1)'에서 $\frac{dT}{T}=\frac{\text{Sin}\theta d\theta}{(\text{Cos}\theta-\frac{R}{W}\text{Sin}^2\theta)}$가 되고 Friedmann의 계산 결과에 의하면

$T=T_0B_0\left(\frac{\text{Cos}\theta+A}{\text{Cos}\theta-A'}\right)^m$ 이다.

단. $A=\frac{1}{2a}\left(\sqrt{1+4a^2}+1\right)$, $A'=\frac{1}{2a}\left(\sqrt{1+4a^2}-1\right)$, $a=\frac{R}{W}$, $m=\frac{1}{\sqrt{1+a^2}}$이다. 끝줄의 끝에 추를 부가 하였다고 생각할 때, 그물의 항력과 무게를 Rn, Wn, 부과한 추의 무게를 W_0라고 하면

$$T_0=\sqrt{(W_n+W_0)^2+R_n^2} \cdots\cdots (2)'$$

따라서 $T=\sqrt{(W_n+W_0)^2+R_n^2}\,B_0\left(\frac{\text{Cos}\theta+A}{\text{Cos}\theta-A'}\right)^m \cdots\cdots (3)'$

또 $y=\frac{T_0}{W}\left\{B_0\left(\frac{\text{Cos}\theta+A}{\text{Cos}\theta-A'}\right)^m-1\right\}$

인데, (2)'를 고려하여 계산한 결과는 다음과 같다.

$$y=\frac{\sqrt{(W_n+W_0)^2+R_n^2}}{W}\left\{B_0\left(\frac{\text{Cos}\theta+A}{\text{Cos}\theta-A'}\right)^m-1\right\} \cdots\cdots (4)'$$

(5) 식을 고쳐쓰면

$$y=\frac{T_0}{W}\text{Cos}\theta_0\left\{\sqrt{1+\left(\frac{W_0}{T_0\text{Cos}\theta}\right)^2}\left(\text{Cosh}\frac{W}{T_0\text{Cos}\theta_0}x-1\right)+\frac{W_0}{T_0\text{Cos}\theta_0}\text{Sinh}\frac{W}{T_0\text{Cos}\theta_0}x\right. \cdots\cdots (5a)$$

또 Tauti의 이론에 의하면

$$y=\frac{T_{o}}{W}\ \frac{1}{\sqrt{1+A^{2}n}}\ \left\{\frac{\theta^{2}-\theta_{o}^{2}}{2}\left(1+\frac{n}{2}\alpha\right)+\frac{\theta^{3}-\theta_{o}^{3}}{3}\left(n\alpha-\frac{A}{B}-\frac{nA}{2B}\alpha^{2}\right)+\cdots\cdots\right\} \cdots(5b)$$

단 $\alpha=\tan^{-1}\frac{R}{W}$, $B=1+A^{2}$, $n=1+\frac{1}{B}$, $A=\frac{R}{W}$ 이다.

윗 식에서 (3)′이나 (5a)이나 간에 부가한 추가 없을 때는, 오른편 첫항만으로 되며, W_{o}는 y에 또 하나의 항을 첨가시키고 있다. 깊이를 크게하는 요인이 된다는 것은 이론상 명백하나, 식(6)이 보이는 바와같이 끝줄의 길이 s도 깊이를 크게 하는 요인이 되어 있으므로 어느쪽이 효율적이고 가능한 방법인가를 따져 보아야 한다.

3. 검　　토

식(6)에서 $\triangle W_{o}$와 $\triangle s$의 변화에 의한 $\triangle y$의 변화를 생각하면 다음과 같다. (식6에서)

$$(\triangle y)_{s=c}=\frac{1}{b}\left(\frac{a+bs}{\sqrt{1+(a+bs)^{2}}}-\frac{a}{\sqrt{1+a^{2}}}\right)\triangle a \cdots\cdots(7)$$

$$(\triangle y)_{a=c}=\frac{a+bs}{\sqrt{1+(a+bs)^{2}}}\triangle s \cdots\cdots(8)$$

(3)′에서 $$\triangle y=\frac{(Wn+W_{o})}{W\sqrt{(Wn+W_{o})^{2}+Rn^{2}}}\left\{B_{o}\left(\frac{\cos\theta+A}{\cos\theta-A'}\right)^{m}-1\right\}\triangle W_{o}\cdots\cdots(4)'$$

지금, $a=\frac{W_{o}}{T_{o}\cos\theta_{o}}=\frac{500}{2000}=\frac{1}{4}$, $b=\frac{W}{T_{o}\cos\theta_{o}}=\frac{2}{2000}=10^{-3}$

$s=200$, $\triangle a=\frac{\triangle W_{o}}{T_{o}\cos\theta_{o}}=\frac{\triangle W_{o}}{2000}$ 정도의 실용상의 트롤그물에 있어서의 끝줄의 길이와 부가한 추의 무게에 의한 깊이의 변화를 생각해보자. 식(7)과 (8)은 다음과 같이 된다.

$$(\triangle y)_{s=c}=0.085\triangle W_{o}$$

$$(\triangle y)_{a=c}=0.41\triangle s$$

이 정도에서 $\triangle Wo=200kg$를 부과하는 경우, $\triangle y=17m$ 인데 17m의 깊이를 변화시키기 위한 $\triangle s$는 40m이다. 그런데 3kt의 속도로 예인중 17m 얕은 자리에 그물을 올리려면 끝줄의 감는 속도를 1m/sec로 한다고 가정만 지나도, 그물의 대수속도(對水速度)는 4kt이다. 그러면 그물에 걸리는 수류저항은 3kt에서 2000Kg 이므로, 4kt서는 1.8倍인 3600Kg 정도이다. 그런데 선박에 장비한 끝줄의 통로에 갑자기 1600Kg의 힘이 증가하게 되므로, 충격적인 경우는 매우 위험한 상태가 된다. 그러나 200Kg 정도의 추를 부가하거나 끝어 올리는 일은 이것보다는 매우 용이한 일로 생각된다.

4. 깊이 바꿈틀

끝줄의 길이를 변화시키는 방법을 택한다면 트롤윈치가 바로 깊이 바꿈틀이 된 것이므로 더 논급할 필요가 없다고 생각된다.

추를 부가하는 경우를 생각하면 끝줄에 따라 Fig. 2와 같은 messenger를 트롤윈치의Drum으로 내려 주거나 끌어 올리는 방법을 생각할 수 있다. 그러나 때다는 줄이 거치장스럽게 생각된다.

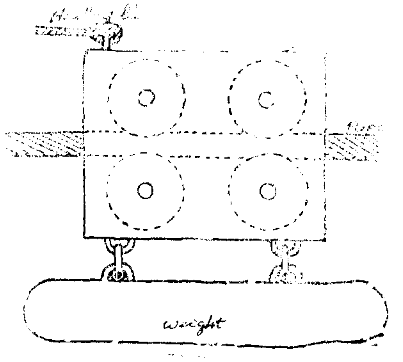

Fig. 2 Depth control messenger

따라서 수평날개판은 끌줄 끝에 장치하여 및 부력으로 그 날개의 영각을 변화시켜서 윗 방향이나 아랫방향으로 양력(揚力)을 얻어면, 결국 추를 부과한 결과가 되어 소기의 목적을 달성할 수 있다. 양력 L의 크기는 $1/2C_LPSV^2$에 의해서 계산된다. 여기서 C_L는 aspect ratio와 영각 α에 따라 변화하는 양력계수이며 P는 밀도, S는 날개의 면적, V는 수류속도 이다. 이 수평날개의 설계는 양력 L가 소망하는 깊이의 변화를 줄수 있는 전술한 추의 무게 W_o와 같은 힘을 작용하게 하는 규모로 하여야 할 것이다.

이상에서 결론적으로 끌줄의 길이와 수평날개의 길이 바꿈틀은 혼용하는 방법이 매우 효과적이라고 생각된다. 깊은 곳으로 옮기는 경우는, 끌줄을 트올윈치의 권동을 풀어주는 것으로 충분히 해결될 수 있으며, 얕은 곳으로 옮기는 경우는 수평날개판으로 윗쪽으로 양력을 작용시키면 쉽게 그물을 위로 옮길 수 있다. 끌줄을 너무 내리게 대면 작업 종료후 감아올리는데 매우 시간을 요하므로 작업목적이나 그때의 상항에 따라서 적당한 길이로 주어 주로 수평날개판을 사용하고 수평날개판 만으로는 기동성이 충분치 못할 경우는 줄을 내리주거나 혹은 천천히 끌어 올리는 방법을 쓴다면 매우 좋은 효과을 올릴것으로 기대된다. 기동성에 관한 이론은 다음 기회에 미루기로 한다.

5. 결　　론

이론적인 결과로 나타나는 관계식은 여러가지 모양으로 되겠으나 길이 y와 부가한 추의 무게 W_o 및 끌줄의 길이 s 사이의 관계는 $y=f(sW_o)$로 나타낼 수 있다. 이것과 실제의 작업상의 문제및 어로장치등을 고려하여 검토한 결과, 끌줄의 길이를 변화시키는 방법과 수평날개의 영각을 바꾸어서 무게를 일어키주는 방법을 혼용하는 것이 매우 효과적이라고 할 수 있다. 끌줄의 길이 y와 그 끝에 부과하는 무게 W_o에 의해서 그물의 깊이에 주는 깊이변화는 다음과 같다. (7),(8)을 고처 쓰면

$$\left.\begin{aligned}\Delta y &= \frac{\frac{W_o}{W}+s}{\sqrt{(T_o\cos\theta_o)^2+(W_o+Ws)^2}}\Delta W_o \\ \Delta y &= \frac{W_o+Ws}{\sqrt{(T_o\cos\theta)^2+(W_o+Ws)^2}}\Delta s\end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (a)$$

$$\Delta y=\frac{W_o+Wn}{W\sqrt{(Wn+W_o)^2+Rn^2}}\left\{B_o\left(\frac{\cos\theta+A}{\cos\theta-A'}\right)^m-1\right\}\Delta W_o \cdots\cdots\cdots\cdots (b)$$

또 (5b)에서 $$\Delta y=\frac{W_o+Wn}{W\sqrt{(W_o+Wn)^2+Rn^2}}\frac{1}{\sqrt{1+A^2}}-n\left\{\frac{\theta^2-\theta_o^2}{2}\left(1+\frac{n}{2}\alpha\right)+\frac{\theta^3-\theta_o^3}{3}\left(n\alpha-\frac{A}{B}-\frac{nA}{2B}\alpha^2\right)+\cdots\cdots\cdots\right\}\Delta W_o \cdots\cdots\cdots (c)$$

여기서 $T_o\cos\theta_o$는 끌줄의 끝에 있어서의 항력 (장력) 이고, W는 끌줄의 단위길이당의 무게이다.

6. 문 헌

張 志 元 (1968) : 중층트롤의 연구, 釜山水産大學研究報告, 제 8 권, 제 1 호, 1—9
Chang, J

Dickson, W. (1967) : Trawl gear geometry and resistance, FAO/U.S.S.R. Seminar/Study tour (Group fellowship) on instrumentation and methodology in fishing technology, UNDP FAO No. TA 2277—11, 71—76

Friedman, A.L. (1967) : Geometry and resistance of trawls, ibid, 51—60

田內森三郎 (1934) : 水産物理學, 朝倉書店, Tokyo, Japan, Pp. 34～50
Tauti, M.