

## 그물漁具의 流水抵抗과 模型守則

### 4. 트롤그물의 流水抵抗

金 大 安

麗水水産大學校 海洋生産學科

## Flow Resistance and Modeling Rule of Fishing Nets

### 4. Flow Resistance of Trawl Nets

Dae-An KIM

Department of Marine Science and Technology, Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749, Korea

In order to find out the properties in flow resistance of trawl nets and the exact expression for the resistance  $R$  (kg) under the water flow of velocity  $v$  (m/sec), the experimental data on  $R$  obtained by other investigators were pigeonholed into the form of  $R=kSv^2$ , where  $k$  (kg · sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>) was the resistance coefficient and  $S$  (m<sup>2</sup>) the wall area of nets, and then  $k$  was analyzed by the resistance formula obtained in the previous paper. The analysis produced the coefficient  $k$  expressed as

$$k=4.5 \left( \frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} v^{-0.2}$$

in case of bottom trawl nets and as

$$k=5.1\lambda^{-0.1} \left( \frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} v^{-0.2}$$

in midwater trawl nets, where  $S_m$  (m<sup>2</sup>) was the cross-sectional area of net mouths,  $S_n$  (m<sup>2</sup>) the area of nets projected to the plane perpendicular to the water flow and  $\lambda$  the representative size of nettings given by  $\pi d^2/2 / \sin 2\phi$  ( $d$ : twine diameter,  $2l$ : mesh size,  $2\phi$ : angle between two adjacent bars). The value of  $S_n/S_m$  could be calculated from the cone-shaped bag nets equal in  $S$  with the trawl nets. In the ordinary trawl nets generalized in the method of design, however, the flow resistance  $R$  (kg) could be expressed as

$$R=1.5 S v^{1.8}$$

in bottom trawl nets and

$$R=0.7 S v^{1.8}$$

in midwater trawl nets.

**Key words** : trawl nets, flow resistance, resistance coefficient

### 緒 論

트롤그물 중 中層 트롤은 曳網時에 流水抵抗만을 받고 底層 트롤은 流水抵抗과 海底 摩擦抵抗을 동시에 받는다 고 볼 수 있는데, 底層 트롤이라 할지라도 模型을 사용하여 回流水槽에서 實驗한 것과 實物을 海底로부터 浮上시켜 實驗한 것 등은 流水抵抗만을 받는다. 따라서, 트롤 그물의 抵抗을 다룰 때는 流水抵抗과 海底 摩擦抵抗을 구별할 수 있어야 하고, 그 중에서 더욱 중요한 것은 流水抵抗이기 때문에 流水抵抗을 먼저 규명해야 하는데, 지금까지의 研究들은 대부분이 海底 摩擦을 받는 경우

일지라도 流水抵抗만을 생각하였고 (Nomura, 1951; Miyazaki, 1957; Hamuro, 1959; Koyama, 1962; Koyama et al., 1972; Koyama, 1974; Kim, 1984), 또 실제로 流水抵抗만을 받는 경우일지라도 그물의 構造, 規格 등을 이용하여 그 抵抗을 해석함이 없이 抵抗과 流速과의 관계만을 조사하는 데 그쳤을 뿐만 아니라, 그 관계를 결정짓는 係數들에 대해서도 모두가 서로 다른 값을 제시하였다 (Takayama and Koyama, 1963; Chow, 1966; Machii, 1967; Nakajima, 1968; Hamuro, 1972; Lee et al., 1987; Hu and Matuda, 1991).

따라서, 트롤그물의 流水抵抗에 대해서는 實驗 結果만

이 누적되고 있을 뿐 그것의 특성이나 그물의 構造, 規格 등과의 관계는 아직 전혀 밝혀지지 않고 있는 실정이기 때문에, 本 研究에서는 트롤그물에 관한 지금까지의 抵抗實驗 結果들 중 流水抵抗만을 받는 조건에서 행해진 것들을 수집·정리하여 그물의 構造, 規格 등에 따른 流水抵抗의 차이를 조사하고, 그 抵抗을 前報 (Kim, 1995-1, 2)에서 구한 抵抗式에 의해 해석함으로써, 트롤그물의 流水抵抗 特性 및 그 抵抗을 그물의 構造, 規格 등으로 精度 높게 표현해 낼 수 있는 방법을 얻어내는 데 주력하였다.

資料 및 方法

本 研究에서는 中層 트롤과 底層 트롤의 구별 없이 流水抵抗만을 받는 경우에 대한 지금까지의 實驗 結果들을 수집하되, 그물 設計圖와 抵抗 測定值가 명시되어 있어 前報 (Kim, 1995-1, 2)의 抵抗式에 의한 해석이 가능한 것에 한하였다. 또한, 前報 (Kim, 1997)의 模型守則에 의하면 實物 그물과 模型 그물은 對應 流速이 서로 같아야 하는 관계로 實驗 結果를 어느 한쪽으로 환산할 필요 없이 각각의 抵抗係數를 바로 비교해도 되기 때문에, 本 研究에서 수집한 資料들 중 模型實驗 結果들은 비록 前報 (Kim, 1997)의 模型守則에 의해 實驗된 것들이 아니라 할지라도 實物로 환산하지 않고, 모두를 實物 그물과 관계 없는 독립된 그물들로 취급하였다.

Table 1은 本 研究에서 수집한 實驗 結果들에 대한 사용 그물의 主要 規格과 實驗 條件 등을 나타낸 것인데, 이것에서 자루그물 앞끝의 完成 둘레 B와 그물의 完成 全長 L 및 그물의 壁 面積 S는 그물 設計圖로부터 각부

그물감의 完成 幅과 길이를 먼저 구하고, 해당 부위별로 그들을 합산하거나 각부 그물감의 完成 面積을 구하여 그물 전체에 대해 합산함으로써 구하였다. 이 경우 각부 그물감의 完成 幅과 길이는 빠대줄이 있는 곳에서는 그것의 길이로 하고, 빠대줄이 없는 곳에서는 그곳에서의 成形率을 구하여 뺀 길이와 곱한 값으로 하였으며, 前後로 연결되는 2장의 그물감에 있어서 연결 부위의 完成 幅이 서로 다른 경우는 그들의 平均值를 택하였다. 또한, 트롤그물의 流水抵抗이라고 하면 漁具 全 抵抗 중에서 끌줄과 후릿줄 및 展開板의 抵抗을 공제한 값을 말하는 것이 보통이기 때문에, 끌줄에 걸리는 張力만을 제시한 것 (C 그물)은 Koyama (1974)의 방법에 의해 그물의 抵抗으로 환산하였으며, 그물에 부착된 뜰·발들의 抵抗을 공제한 것 (A 그물)은 공제시와 같은 방법으로 그 값을 다시 추가하였다.

Table 2는 이러한 수정을 거쳐 재정리한 각 그물별 流速 v와 抵抗 R의 값을 나타낸다.

結果 및 考察

前報 (Kim, 1995-1, 2)에 의하면, 壁 面積이 S (m<sup>2</sup>) 되는 그물이 流速 v (m/sec)에서 받는 流水抵抗 R (kg)을

$$R = k S v^2 \tag{1}$$

으로 표시할 경우, 抵抗係數 k (kg·sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)는 그물 入口의 斷面積을 S<sub>m</sub> (m<sup>2</sup>), 흐름에 수직인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을 S<sub>n</sub> (m<sup>2</sup>), 그물코의 面積에 대한 발의 體積의 比 λ (m), 즉

Table 1. Nets in the experimental results quoted in this study (B: Made-up circumference of fore edge in bag part of net, L: Made-up total length of net, S: Wall area of net)

Net	Panel	Scale	B (m)	L (m)	S (m <sup>2</sup> )	Exp. place	Reference
A-1	6	Full scale	25.01	50.94	618	Mid sea	Machii (1967)
A-2	〃	1/3 model	8.337	16.98	68.67	〃	〃
A-3	〃	1/6 〃	4.168	8.490	17.17	〃	〃
A-4	〃	1/15 〃	1.667	3.396	2.7467	Water tank	Chow (1966)
A-5	〃	1/40 〃	0.625	1.274	0.3863	〃	〃
A-6	〃	1/60 〃	0.417	0.849	0.1717	〃	Nakajima (1968)
A-7	〃	1/80 〃	0.313	0.637	0.0966	〃	〃
A-8	〃	1/120 〃	0.208	0.425	0.0429	〃	〃
B	〃	1/80 〃	0.484	0.899	0.1944	〃	Hamuro (1972)
C	4	1/2 〃	19.50	20.12	172	Mid sea	Takayama·Koyama (1963)
D	10	Full scale	66.40	61.12	1813	〃	Hu·Matuda (1991)
E	〃	〃	77.20	67.00	2215	〃	〃
F	〃	〃	73.28	66.60	2061	〃	〃

A·B : Bottom trawl, C~F : Mid water trawl, Model nets : Experimented by the modeling rule of Tauti (1934)

Table 2. Values of resistance  $R$  (kg) and velocity  $v$  (m/sec) for nets listed in Table 1

Net	$v$	$R$	Net	$v$	$R$	Net	$v$	$R$	Net	$v$	$R$
A-1	1.81	2766	A-4	0.792	2.44	B	0.183	0.0210	D	2.00	4690.6
	1.85	3003		0.905	3.25		0.310	0.0430		2.02	5847.8
	1.87	2826		1.020	3.96	[50 cm]	0.388	0.0631	(100 m)	2.06	6337.1
	1.89	2809	A-5	0.304	0.098	B	0.494	0.0927	D	1.60	2439.8
	1.99	3347					0.554	0.1143		1.72	2791.1
	2.00	3348		0.400	0.129	[60 cm]	0.224	0.0300	(200 m)	2.01	5561.9
	2.10	3897		0.409	0.149		0.330	0.0551	D	1.11	1894.3
A-2	0.98	138.5	0.506	0.177	0.386	0.0680	1.17	2052.0			
	1.41	218.3	0.584	0.247	0.474	0.0995	1.34	2457.6			
	1.42	222.5	0.784	0.407	0.568	0.1342	1.56	2673.9			
	1.54	256.1	A-6	0.090	0.00451	B	0.220	0.0297	(300 m)	1.76	3643.5
	1.55	215.3		0.125	0.00828		0.288	0.0477		1.99	5352.5
	1.60	217.0		0.147	0.01047	[70 cm]	0.375	0.0720		D	1.28
	1.60	259.0	0.175	0.01435	0.484	0.1000	1.50	2576.1			
	1.69	294.4	0.202	0.01823	B	0.568	0.1328	(400 m)	1.65	3722.0	
	1.71	238.7	0.219	0.02093		0.240	0.0410	2.00	5246.5		
	1.77	294.7	0.237	0.02445	0.336	0.0618	D	1.29	1972.9		
	1.86	297.2	0.267	0.02937	[80 cm]	0.378		0.0772	1.47	2719.6	
	1.90	333.9	0.289	0.03391	0.507	0.1150		(500 m)	1.67	3560.7	
	1.94	345.6	0.307	0.03790	0.584	0.1580	1.98	5205.8			
1.96	333.2	A-7	0.098	0.00390	C	0.50	98	E	2.07	6118.9	
1.99	337.6		0.125	0.00612		0.75	210		(100 m)	1.43	3061.5
A-3	1.10		34.8	0.147	0.00831	(60 m)	1.00	354	E	1.46	3378.9
	1.10		33.1	0.175	0.01131	C	1.25	467		1.49	2838.5
	1.15		40.6	0.195	0.01368		0.50	90		(200 m)	1.53
	1.19	40.9	0.124	0.01596	0.75	225	1.69	3601.9			
	1.23	39.0	0.247	0.02071	(120 cm)	1.00	302	1.95	5134.2		
	1.26	44.4	0.270	0.02408	1.25	461	2.22	6399.0			
	1.26	43.7	0.295	0.02711	C	0.50	76	E	1.52	2955.5	
	1.36	51.1	0.315	0.02979		0.75	184		(300 m)	1.58	2565.9
	1.38	48.4	A-8	0.108	0.00224	(160 cm)	1.00	342	E	1.53	2785.9
	1.39	42.3		0.128	0.00273	1.25	523	D		1.29	2230.5
1.41	47.7	0.165		0.00440	1.21	2289.4	1.54		2770.0		
1.51	57.3	0.181		0.00528	1.25	2250.7	F		1.77	3984.2	
1.51	55.0	0.205		0.00661	(100 m)	1.29		2250.8	2.06	5211.5	
1.52	61.0	0.233	0.00800	1.53	2235.2	1.72	2735.0	2.31	6450.4		
1.56	59.7	0.260	0.00923	1.72	2735.0	1.81	3830.6				
A-4	0.404	0.92	0.289	0.01081							
	0.528	1.35	0.315	0.01197							
	0.669	2.02									

[ ] : Distance between fore edges of wings, ( ) : Warp length.

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2l \sin 2\phi} \tag{2}$$

을 대표치수로 하는 레이놀즈數를  $R_e (= \lambda v / \nu, \nu$ : 물의 動粘性係數)라 할 때 ( $d$ : 그물실의 지름,  $2l$ : 그물코의 크기,  $2\phi$ : 그물코의 展開角), 트롤그물과 같이 흐름에 대한 그물의 迎角  $\theta$ 가  $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 의 區間에 들어오는 경우는  $R_e < 100$ 의 領域에서는

$$k = 160 R_e^{-0.1} \left( \frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} \left( \frac{S_m}{S} \right)^{1.6} \tag{3}$$

으로 주어지고,  $R_e \geq 100$ 의 領域에서는

$$k = 100 \left( \frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} \left( \frac{S_m}{S} \right)^{1.6} \tag{4}$$

으로 주어진다.

따라서, 트롤그물의 流水抵抗도 이들 式에 의해 결정된다고 간주하고, 먼저 Table 1의 각 그물에 대한  $R_e$ 의 영향을 조사해 보기 위하여 (2)式 中の  $d$ 와  $2l$ 은 그물의 全 部位에 걸친 加重 平均值를 취하고  $\phi$ 는 그물의 중앙부에 해당하는 天井網에서의 값을 취하여  $\lambda$ 를 구한 후, 이것과  $\nu = 1.19 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$  (海水  $15^\circ\text{C}$  35%) 및 Table 2에 표시된 각 그물별  $v$ 의 最小値와 最大値를 사용하여  $R_e$ 의 값을 계산해 보면 (Table 3),  $R_e$ 의 값이 100을 초과하는 것은 A-1 그물과 A-2 그물에 한한다. 따라서, 각 그물을 같은 조건에서 비교하기 위하여 (3)式 및 (4)式에서의  $k/160R_e^{-0.1}$  또는  $k/100$ 을  $K$ 라 두고

$$K = \left( \frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} \left( \frac{S_m}{S} \right)^{1.6} \tag{5}$$

으로 바꿔 쓰면,  $S$ 는  $v$ 에 관계 없이 거의 일정한 데 비해  $S_m$ 과  $S_n$ 은  $v$ 가 증가함에 따라 감소하기 때문에,  $K$ 는  $v$ 의 函數로 표시될 것으로 보여진다. 따라서, (1)式에 의해 각 그물에 대한  $v$ 의 測定値別  $k$  값을 구한 다음,  $R_e < 100$ 일 때의  $k$  값은  $K = k/160R_e^{-0.1}$ 에 의해,  $R_e \geq 100$ 일 때의  $k$  값은  $K = k/100$ 에 의해  $K$ 로 환산하고 각 그물별로  $K$ 와  $v$ 와의 관계를 구해 보면, A-1 그물은  $K$  값의 변화가 一律的이지 못한다.  $v$ 가 커짐에 따라 증가하는 경향이었는데 비해, 그 밖의 그물들은 모두  $v$ 가 커짐에 따라  $K$ 가 指數函數의으로 감소해 가는 경향이있기 때문에, A-1 그물만을 제외한 모든 그물에 대해  $K$ 와  $v$ 와의 관계를 兩代數 方眼紙에 圖示해 보면 (Fig. 1), D·E 그물에서 相關의 程度가 약간 나빠질 뿐 전체적으로는

$$K = c v^{-n} \tag{6}$$

의 관계가 잘 성립한다.

Table 3. Value of  $R_e$  for each net

Net	$d$ (mm)	$2l$ (mm)	$2\phi$ (o)	$R_e$
A-1	2.70	120.6	60	333~387
A-2	1.35	60.4	〃	90~183
A-3	0.87	39.0	〃	65~92
A-4	0.37	16.6	〃	10~26
A-5	0.22	9.8	〃	5~12
A-6	0.18	8.2	〃	1~4
A-7	〃	〃	〃	〃
A-8	〃	〃	〃	〃
B	0.67	25.2	〃	10~32
C	0.75	34.2	〃	25~63
D	1.69	188.2	57	53~99
E	1.58	210.6	60	52~80
F	1.27	211.9	〃	30~54

$d, l$ : Mean over all parts of each net.

Table 4. Values of  $c$  and  $n$  in equation (6) for each net

Net	$c (\times 10^{-2})$	$n$
A-1	-	-
A-2	1.98	0.69
A-3	1.66	0.42
A-4	1.17	0.33
A-5	1.17	0.39
A-6	1.34	0.18
A-7	1.94	0.15
A-8	1.54	0.28
B	1.51	0.34
C	1.77	0.04
D	0.68	0.04
E	0.55	0.01
F	0.55	0.01

이상에서 A-1 그물만이 (6)式의 관계를 전혀 따르지 않는 것은 이 그물이 實物이어서 海中에서 實驗됨으로써 抵抗 測定値에 오차가 컸기 때문인 것 같고, D·E 그물이 (6)式의 관계를 따르기는 하되 相關의 程度가 나쁜 것은 이들 그물이 實物로서 海中에서 實驗된 것 외에 끌줄의 길이를 여러 가지로 바꿔 가면서 實驗한 것들을 하나로 합쳐 표시하였기 때문인 것 같다. 그러나, 本 研究에서는 끌줄의 길이를 고려하지 않고 流水抵抗을 해석하고 있기 때문에, D·E 그물에 대한  $K$  값을 그대로 수용하기로 하고 각 그물별로  $c$ 와  $n$ 의 값을 구해 보면 (Table 4), 이들 값은 각 그물간에 상당한 차이를 보여 그물 전체적으로 一律的이지 못하고, 심지어는 같은 構造로 된 A-1 그물부터 A-8 그물 사이에도 큰 차이를 보인다. 이 들에서 A-1 그물부터 A-8 그물까지는 Tauti (1934)의 模型守則에 의해 實驗된 것들로서 각 그물간에 精確한 相

似關係가 성립하지 않는다는 것은 이미 확인된 바 있으나 (Nakajima, 1968), Tauti (1934)의 模型守則에서는 實物로 환산하는 과정에서도 誤差가 생긴다고 볼 수 있기 때문에 (Kim, 1997), Table 4에서와 같이 모두를 독립된 그물들로 간주하여 구한  $c$ 와  $n$ 의 값은 Tauti (1934)의 模型守則에서 생기는 오차 중 實物로의 환산에 따른 誤差는 해소시켰다고 볼 수 있다. 그러나, 이들 값이 각 그물간에 여전히 크게 차이나는 것으로 보아 다른 要因들의 영향에 의한 오차는 그대로 남아 있다고 볼 수 있기 때문에, 그 영향을 가능한 한 縮小시키는 방법의 하나로 해서 A-1 그물부터 A-8 그물까지를 모두 합하여  $v$ 별  $K$  값을 하나의 兩代數 方眼紙에 圖示해 보면 (Fig. 2)  $K$ 와  $v$ 와의 관계는 하나의 直線으로 대표할 수 있고, 底層 트롤에 속하는 A 그물과 B 그물을 합하여 圖示해 보아도 (Fig. 3) 마찬가지로 結果가 얻어진다. 또한, Table 4에서  $v=1\text{m/sec}$  때의  $K$  값을 나타내는  $c$  값만을 보면, 中層 트롤 중 D~F 그물은 底層 트롤인 A·B 그물의 變化 範圍에서 크게 벗어나는 데 비해 C 그물은 A·B 그물의 變化 範圍에 들어오므로, A~C 그물을 합친 것과 D~F 그물을 합친 것을 각각 圖示해 보면 (Fig. 4 및 5), D~F 그물의 경우는 역시 相關의 程度가 나쁘기는 하나 두 경우 모두  $K$ 와  $v$ 와의 관계는 각기 하나씩의 直線으로 표시해도 좋을 것으로 보여진다. 따라서, Fig. 2~5의 각각에 대한  $c$ 와  $n$ 의 값을 구해 보면 (Table 5), A 그물과 A·B 그물 및 A~C 그물의 경우는  $c$ 와  $n$ 의 값이 거의 같은 데 비해, D~F 그물의 경우는  $c$ 와  $n$  값 둘 다 A~C 그물의 경우보다 크게 작고, 특히  $c$ 의 값은 A~C 그물의 1/2에도 미치지 못한다.

이상의 結果에 있어서  $K$ 와  $v$ 와의 관계가 底層 트롤인 A·B 그물과 中層 트롤인 D~F 그물로 크게 구분되고 또 각각에서 하나씩의 直線으로 대표되는 것은 트롤그물의 種類別로 設計 方式이 일반화 되어 있는데다 設計上의 細細한 差異가 流水抵抗에 큰 변화를 가져오지 못하기 때문이라 볼 수 있다. 그러나, 中層 트롤인 C 그물이 D~F 그물보다는 오히려 A·B 그물에 類似한 結果를 보이고 있는 것으로 보아,  $K$  값의 根本的인 差異는 그물의 種類보다도 그물의 規模와 形狀 및 構成 材料의 規格을 나타낸 (5)式에서의 각 變數 값에 따라 크게 좌우된다고 보아야 할 것 같다. 즉, (5)式的 관계를 다시 보면  $S_m$ 과  $S_n$ 은  $v$ 가 증가함에 따라 각기 別個로 감소하는 것이 아니라 서로 밀접한 관계를 가지고 항상 같은 비율로 감소해 가기 때문에,  $S_n/S_m$ 은  $v$ 에 관계 없이 거의 일정하고  $S_m/S_n$ 은  $v$ 가 증가함에 따라 크게 감소한다고 볼 수 있으며, 여기서 (6)式을 참조하여  $S_m/S_n$ 과  $v$ 와의 관계를

Table 5. Values of  $c$  and  $n$  in equation (6) for nets, A, A·B, A~C and D~F

Net	$c (\times 10^{-2})$	$n$
A	1.52	0.21
A·B	1.54	0.23
A~C	1.57	0.22
D~F	0.65	0.08

$$\frac{S_m}{S} = \alpha v^{-\beta} \quad (7)$$

으로 표시하고 ( $\alpha, \beta$ : 常數) (5)式에 대입하면,

$$K = \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^{1.2} \alpha^{1.6} v^{-1.6\beta} \quad (8)$$

이 얻어지기 때문에, 각 그물별로  $c$ 와  $n$  값이 서로 같거나 차이나는 것은 위 式 중의  $S_n/S_m$ 과  $\alpha$  및  $\beta$  값이 서로 같거나 차이나는 것에 그 원인이 있다고 보아야 할 것 같다.

따라서, 각 그물에 대해  $S_n/S_m$ 과  $\alpha$  및  $\beta$  값을 구하여 (8)式에 대입하고 (6)式的  $K$  값과 비교하면, 각 그물의  $c$ 와  $n$  값이 (5)式에 따라 결정되는가의 여부를 확인할 수 있는데, 트롤그물은 자루 앞끝 양쪽으로 날개가 突出되어 있어 그물 入口가 同一 平面上에 있지 않고, 그물감의 規格 및 흐름에 대한 迎角도 部位마다 달라지는 등 구체적으로 보면 매우 복잡한 構造를 취하기 때문에,  $S_n/S_m$ 과  $\alpha$  및  $\beta$  값을 구하기란 그렇게 간단하지가 않다. 그러나, 트롤그물은 한편으로 보면 入口 속으로 물을 流入한 후 그물코를 통해 통과시키는 자루 形態의 有孔性 構造物에 불과하여, 그것의 流水抵抗은 물의 流入·流出 程度에 따라 크게 달라질 것으로 보여지기 때문에, 그 程度만을 같게 할 수 있다고 하면 복잡한 構造에 兪대일 필요 없이 보통의 자루그물로 간주해도 크게 문제될 것은 없다 하겠으며, 이 경우 트롤그물의 전체적 형상은 橢圓錐形에 가깝다고 볼 수 있기 때문에 (Takayama et al., 1959),  $S_n/S_m$ 과  $\alpha$  및  $\beta$  값을 近似的으로 구하는 데 있어서는 橢圓錐形 자루그물로 간주하는 것이 實際에 가장 가깝다고 볼 수 있다.

따라서, 트롤그물을 그것의 壁 面積  $S$ 와 같은 壁 面積을 가지는 橢圓錐形 자루그물로 간주하되, 橢圓錐形은 원래 圓錐形이던 것이 流水의 作用을 받아 변형된 것이라고 가정하면,  $v$ 에 관계 없는  $S_n/S_m$ 은 圓錐形과 橢圓錐形에서 크게 달라질 것이 없기 때문에 계산이 더욱 간편한 圓錐形을 채택하여 그물 設計圖로부터 계산해 낼 수 있고,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 橢圓錐形일 때의 값으로 생각해야 하므로 자루그물 앞끝이 橢圓을 이룬다고 가정하고 實驗에서測

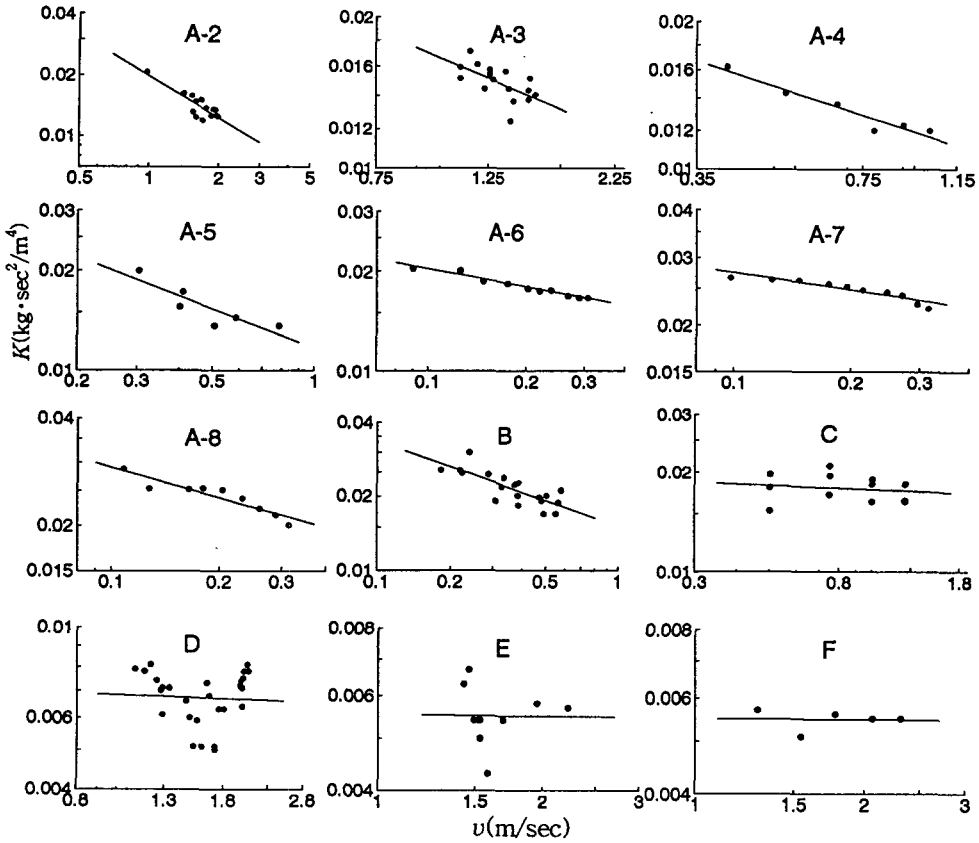


Fig. 1. Relation between  $K$  and  $v$  in equation (6) for each net from A-2 to F. Net A-1 was not indicated because its value of  $K$  increased with increasing  $v$ .

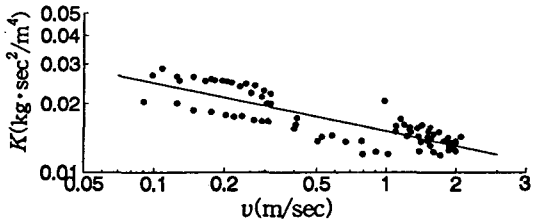


Fig. 2. Relation between  $K$  and  $v$  in equation (6) for nets, A-1 to A-8.

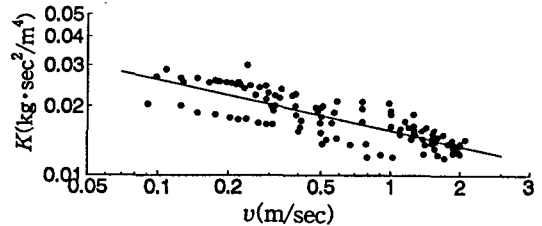


Fig. 4. Relation between  $K$  and  $v$  in equation (6) for nets, A to C.

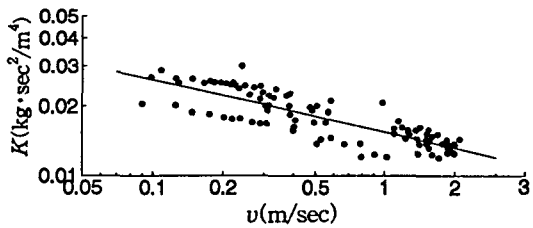


Fig. 3. Relation between  $K$  and  $v$  in equation (6) for nets, A and B.

定한 網高, 網幅 등을 이용하여 산출해 낼 수 있다. 그러나, Table 1의 그물들에 관한 資料로부터는  $\alpha$ 와  $\beta$  값을 전혀 구할 수 없기 때문에, 本研究에서는 (8)式이 妥當한가 만을 알아보기 위하여  $S_n/S_m$ 의 값은 圓錐形 자루그물에 의해 구하되,  $v=1$  m/sec 때의  $S_m/S$  값을 나타내는  $\alpha$  값으로는 圓錐形일 때의 값  $\alpha_c$ 로 대신하여 (8)式 中の  $(S_n/S_m)^{1.2} \alpha^{1.6}$  값만을 구해 보기로 하였다. 즉, 트롤그물을 圓錐形 자루그물로 간주하면  $S_m$ 과  $S_n$ 은 흐름에 대한 그물감의 迎角을  $\theta$ 라 할 때 각각 圓錐 方程式 및 前報

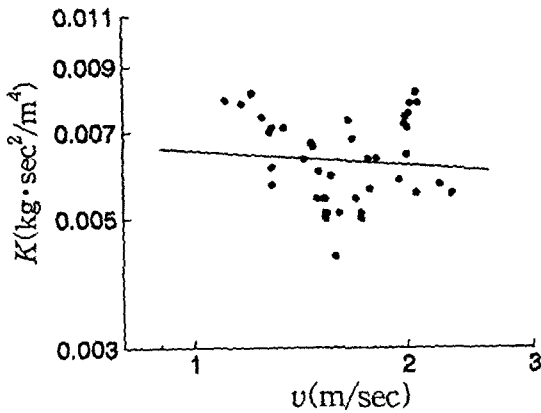


Fig. 5. Relation between  $K$  and  $v$  in equation (6) for nets, D to F.

(Kim, 1995-2)에 의해

$$S_m = S \sin\beta \tag{9}$$

및

$$S_n = \frac{d}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2\phi \cos^2\theta}}{\sin\phi \cos\phi} \cdot S \tag{10}$$

로 주어지므로, 이들에 의해  $S_n/S_m$ 과  $\alpha_c$ , 즉  $S_n/S$ 의 값을 구하되,  $d$ 와  $l$  및  $\phi$ 는 前記했던 Table 3의 값을 이용하고,  $\theta$ 는 자루그물 앞끝의 完成 돌래  $B$ 와 자루 힘줄 및 끝자루 힘줄의 總 길이  $L_b$ 를 사용하여

$$\sin\theta = \frac{B}{2\pi L_b} \tag{11}$$

에 의해 구하였다. Table 6은 각 그물에 대해 구한  $S_n/S_m$ 과  $\alpha_c$  및  $(S_n/S_m)^{1.2}\alpha_c^{1.6}$ 의 값을 나타내는데, 이것에서 보면 각 그물별  $(S_n/S_m)^{1.2}\alpha_c^{1.6}$ 의 값은 Table 4의  $c$  값에 거의 근접할 뿐만 아니라 A~C 그물에 대한 것과 D~F 그물에 대한 것으로 크게 나누어지는 등 그 變化 傾向이 Table 4의  $c$  값의 變化 傾向과 거의 일치한다. 이 경우,  $\alpha$  값 대신  $\alpha_c$  값을 사용하였는데도 불구하고 각 그물별  $(S_n/S_m)^{1.2}\alpha_c^{1.6}$ 의 값이 Table 4의  $c$  값에 근접하는 것은 상기한 계산에 誤差가 있다는 것을 말해준다 하겠지만, 전체적으로 두 값의 變化 傾向이 거의 일치하는 것으로 보아 (8)식의 假定이 적절하였다는 것을 알 수 있을 뿐만 아니라,  $K$ 가 (8)식으로 표시되는 것도 완전히 (5)식에 근거한다는 것을 확연하게 알 수 있다.

따라서, 트롤그물에 대해 (8)식의 각 變數 값을 정확하게 구할 수가 있다고 하면 그것의 抵抗係數는 계산에 의해서도 구해낼 수 있다는 것을 알 수 있는데, 이 경우 (8)식의  $S_n/S_m$ 의 값은 Table 6의 값을 그대로 사용해도

좋은 것으로 보여지나,  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값은 구할 수가 없기 때문에 (6)식과 비교하여

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^{1.2} \alpha^{1.6} &= c \\ 1.6\beta &= n \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

라 두고, 이들에 Table 6의  $S_n/S_m$ 과 Table 5의  $c$ 와  $n$  값을 적용하면, 概括的으로나  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값의 推定이 가능해진다. 즉, Table 1의 그물들 중 底層 트롤에 속하는 A·B 그물은 Table 5 및 6에서 보았던 바와 같이  $c$ 와  $n$  값 뿐만 아니라  $S_n/S_m$ 과  $\alpha_c$ 의 값도 거의 같아 底層 트롤의 典型的인 設計 方式에 따른 그물들이라 볼 수 있고, 中層 트롤에 속하는 C~F 그물은  $\alpha_c$ 의 값에서는 거의 유사하나 C 그물만이  $S_n/S_m$  값에서 크게 달라 D~F 그물만이 典型的인 中層 트롤의 設計 方式에 따른 그물들이라 볼 수 있기 때문에, 이들 A·B 그물과 D~F 그물에 대해  $S_n/S_m$ 의 平均値를 취하고 (12)식에 Table 5의  $c$  및  $n$  값을 대입하여  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값을 구하면 Table 7이 얻어진다. 이것에서 보면,  $\alpha$ 의 값은 底層 트롤인 A·B 그물에서 더 작고  $\beta$ 의 값은 中層 트롤인 D~F 그물에서 더 작기 때문에,  $v$ 의 증가에 따른 網高의 감소는 中層 트롤보다 底層 트롤에서 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한, 이들 그물의  $\alpha$  및  $\beta$  값을 (8)식에 다시 대입하여  $K$ 를 구하고 (3)식 또는 (4)식의  $k$ 로 바꾸되 實物 그물을 기준으로 하면, 底層 트롤인 A·B 그물의 경우는 A-1 그물에서 보았던 바와 같이  $R_v$ 의 영향이 무시되므로 구해진  $K$ 에 100을 곱하여

$$k = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^{1.2} v^{-0.2} \tag{13}$$

Table 6. Value of  $S_n/S_m$ ,  $\alpha_c$  and  $(S_n/S_m)^{1.2}\alpha_c^{1.6}$  in equation (8) for each net

Net	$L_b$ (m)	$\theta$ (°)	$d/l$	$S_n/S_m$	$\alpha_c$	$(S_n/S_m)^{1.2}\alpha_c^{1.6}$
A	26.78	8.6	0.051*	0.407	0.150	0.0163
B	0.509	8.7	0.053	0.418	0.151	0.0171
C	13.05	13.8	0.044	0.230	0.239	0.0174
D	50.82	12.0	0.018	0.105	0.208	0.0054
E	54.10	13.1	0.015	0.082	0.227	0.0046
F	52.84	12.8	0.012	0.067	0.222	0.0035

\* Became larger than 0.045 calculated by  $d$  and  $2l$  in Table 1, because the net was partly made of double nettings.

Table 7. Values of mean of  $S_n/S_m$ ,  $\alpha$  and  $\beta$  in equation (8) for nets, A·B and D~F

Net	Mean of $S_n/S_m$	$\alpha$	$\beta$
A·B	0.413	0.143	0.14
D~F	0.085	0.273	0.05

로 표시할 수 있고, 中層 트롤인 D~F 그물의 경우는  $R_e$ 의 영향이 무시되지 않으므로 구해진  $K$ 에  $160R_e^{-0.1}$ 을 곱하되  $v=1.19 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ 를 적용하여

$$k = 5.1\lambda^{-0.1} \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^{1.2} v^{-0.2} \quad (14)$$

으로 표시할 수 있다.

결국, 트롤그물의 流水抵抗은 (1)式과 (13)式 또는 (14)式을 이용하여 계산으로 구해 낼 수 있다 하겠는데, 設計方式이 일반화 되어 있는 그물들의 경우는  $K$  값, 즉  $k/160R_e^{-0.1}$  또는  $k/100$ 의 값이 (6)式과 Table 5에 의해 주어지므로, 이들을 이용하여 底層 트롤인 A·B 그물과 中層 트롤인 D~F 그물에 대해  $k$ 를 구하여 (1)式에 대입하되, Table 3으로부터 D~F 그물에 대한  $\lambda$ 의 平均値를 계산해 보면  $4.26 \times 10^{-5} \text{m}$ 이므로 이것을 적용하면, 트롤그물의 流水抵抗  $R$  (kg)은 一般 底層 트롤그물의 경우 近似的으로

$$R = 1.5 S v^{1.8} \quad (15)$$

으로 표시할 수 있고, 一般 中層 트롤그물의 경우는 近似的으로

$$R = 0.7 S v^{1.8} \quad (16)$$

으로 표시할 수 있다 하겠으며, 이들로부터 中層 트롤그물의 流水抵抗은 底層 트롤그물의 1/2 정도에 지나지 않는다는 것을 알 수 있다.

끝으로 本 研究를 위해 많은 資料와 함께 助言을 주신 前 東京水産大學 教授 近藤 仁 博士께 깊은 感謝를 드린다.

### 要 約

本 研究에서는 트롤그물의 流水抵抗 特性 및 그 抵抗을 그물의 構造, 規格 등으로 精度 높게 표현해내는 방법을 얻어내는 것을 目的으로 하여, 壁 面積이  $S$  ( $\text{m}^2$ ) 되는 트롤그물이 流速  $v$  ( $\text{m}/\text{sec}$ )에서 받는 流水抵抗  $R$  (kg)을  $R=kSv^2$ 으로 표시하고, 지금까지 행해진 抵抗實驗 結果들을 수집하여 윗 式의 형태로 정리하였으며, 抵抗係數  $k$  ( $\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ )를 前報에서 구한 抵抗式에 의해 해석하였다. 그 結果,  $k$ 는 그물 入口의 斷面積을  $S_m$  ( $\text{m}^2$ ), 흐름에 수직인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을  $S_n$  ( $\text{m}^2$ ), 그물감의 대표치수를  $\lambda$  ( $=\pi d^2/2l \sin 2\phi$ ;  $d$ : 그물실의 지름,  $l$ : 그물코의 크기,  $2\phi$ : 그물코의 展開角)라 할 때, 底層 트롤과 中層 트롤에서 각각

$$k = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^{1.2} v^{-0.2}$$

및

$$k = 5.1 \lambda^{-0.1} \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^{1.2} v^{-0.2}$$

으로 표시할 수 있었고, 이들에게서  $S_n/S_m$ 의 값은 각각의 그물과 壁 面積이 같은 圓錐形 자루그물로부터 구해도 된다는 것을 알 수 있었으며, 設計方式이 일반화 되어 있는 그물들의 경우는 流水抵抗  $R$  (kg)을 底層 트롤과 中層 트롤에서 각각

$$R = 1.5 S v^{1.8}$$

및

$$R = 0.7 S v^{1.8}$$

으로 표시해도 좋다는 것을 알 수 있었다.

### 參 考 文 獻

Chow, Y. S. 1966. A model experiment for trawl net, Unpublished master's thesis, Tokyo Univ. Fish, pp. 1~89. (in Japanese)

Hamuro, O. 1959. Fishing gear measurements, Shin Bookstore, Tokyo, Japan, pp. 208~212 (in Japanese).

Hamuro, C., E. Iwanami and A. Ikeda. 1972. Studies on mutual relation between the change of angle of controllable pitch propeller and trawl net's height under towing, and application to automatic control equipment of trawl net's height- (1), On the automatic control equipment of trawl net's height, Bull. Fishing Vessel Res. 26, 1~62. (in Japanese)

Hu, F. and K. Matuda. 1991. Estimation of the drag of mid-water trawl net, J. Tokyo Univ. Fish. 78 (1), 19~25 (in Japanese).

Kim, D. A. 1995. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 1. Analysis of flow resistance and its examination by data on plane nettings, J. Korean Fish. Soc. 28 (2), 183~193 (in Korean).

Kim, D. A. 1995. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 2. Flow resistance of bag nets, J. Korean Fish. Soc. 28 (2), 194~201 (in Korean).

Kim, D. A. 1997. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 3. Establishment of modeling rule and its theoretical examination, J. Korean Fish. Soc. 30 (4), 543~549 (in Korean).

Kim, J. K. 1984. Hydrodynamic resistance of some trawl net being used by M/S Saebada, Bull. Korean Fish. Soc. 17 (1), 1~8 (in Korean).



- Koyama, T. 1962. Hydraulic resistance of trawl nets estimated by approximate equations, Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 34, 75~81 (in Japanese).
- Koyama, T. 1974. Study on the stern trawl, Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 77, 171~247 (in Japanese).
- Koyama, T., S. Yajima, K. Arai and H. Sato. 1972. Studies on small stern trawl-I, Resistance on small trawl net and developing angles of the otter boards at rudder deflection, Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 71, 69~78 (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, Hydrodynamic resistance of the gear and efficiency of the otter board, Bull. Korean Fish. Soc. 23 (1), 6~10 (in Korean).
- Machii, K. 1967. A study on the scale effect of model trawl nets, Unpublished master's thesis, Tokyo Univ. Fish, pp. 1~133 (in Japanese).
- Nakajima, S. 1968. A study on the small models of trawl nets, Unpublished master's thesis, Tokyo Univ. Fish, pp. 1~101 (in Japanese).
- Takayama, S. and T. Koyama. 1963. Studies on midwater trawling-III, Model net tests on performance and applicability to pelagic fish, Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 37, 43~49 (in Japanese).
- Tauti, M. 1934. A relation between experiments on model and full scale of net, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 3 (4), 171~177.

---

1997년 5월 12일 접수

1997년 8월 30일 수리