

그물漁具의 流水抵抗과 模型守則

1. 流水抵抗의 解析 및 平面 그물감의 資料에 의한 檢討

金 大 安

麗水水産大學校 海洋生産學科

Flow Resistance and Modeling Rule of Fishing Nets

1. Analysis of Flow Resistance and Its Examination

by Data on Plane Nettings

Dae-An KIM

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

Assuming that fishing nets are porous structures to suck water into their mouth and then filtrate water out of them, the flow resistance R of nets with wall area S under the velocity v was taken by $R=kSv^2$, and the coefficient k was derived as

$$k = c R_e^{-m} \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^n \left(\frac{S_n}{S} \right),$$

where R_e is the Reynolds' number, S_m the area of net mouth, S_n the total area of net projected to the plane perpendicular to the water flow. Then, the propriety of the above equation and the values of c , m and n were investigated by the experimental results on plane nettings carried out hitherto. The value of c and m were fixed respectively by $240(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ and 0.1 when the representative size on R_e was taken by the ratio λ of the volume of bars to the area of meshes, i. e.,

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2l \sin 2\varphi},$$

where d is the diameter of bars, $2l$ the mesh size, and 2φ the angle between two adjacent bars. The value of n was larger than 1.0 as 1.2 because the wakes occurring at the knots and bars increased the resistance by obstructing the filtration of water through the meshes. In case in which the influence of R_e was negligible, the value of cR_e^{-m} became a constant distinguished by the regions of the attack angle θ of nettings to the water flow, i. e., $100(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ in $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ and $100(S_m/S)^{0.6}(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ in $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$. Thus, the coefficient $k(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ of plane nettings could be obtained by utilizing the above values with S_m and S_n given respectively by

$$S_m = S \sin \theta$$

and

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

But, on the occasion of $\theta=0^\circ$ k was decided by the roughness of netting surface and so expressed as

$$k = 9 \left(\frac{d}{l \cos \varphi} \right)^{0.8}$$

in these results, however, the values of c and m were regarded to be not sufficiently exact because they were obtained from insufficient data and the actual nets had no use for k at $\theta=0^\circ$. Therefore, the exact expression of $k(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ for actual nets could be made in the case of no influence of R_e as follows;

$$k = 100 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} \left(\frac{S_m}{S} \right), \quad \text{for } 45^\circ < \theta \leq 90^\circ.$$

$$k = 100 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} \left(\frac{S_m}{S} \right)^{1.6}, \quad \text{for } 0^\circ < \theta \leq 45^\circ.$$

Key words : nets, plane nettings, resistance, Reynolds number

緒 論

그물漁具의 流水抵抗을 解析할 目的으로, 지금까지 平面 그물감의 流水抵抗에 關係 비교적 많은 研究가 行해져 왔고, 또 그것을 이용하여 자루形 그물감의 流水抵抗을 計算하기 위한 試圖도 이루어진 바 있으나, 아직 그물漁具의 流水抵抗을 具體的으로 解析할 단계에는 이르지 못하고 있다. 이는 그물漁具의 水中 形狀이 複雜하고 多樣한 曲面을 이룰 뿐만 아니라 流速에 따라서도 매우 不規則的인 變化를 보이기 때문에, 平素 그것을 精確하게 求해내는 것이 어렵고 設사 求한다 해도 平面 그물감과 連繫시켜 解析하기 곤란한 데에 그 原因이 있다고 볼 수 있다. 그러나, 그물을 하나의 완성된 構造物로 간주하고 그 構造物의 特性만을 고려하여 流水抵抗을 求하면, 그물의 形狀에 크게 求해받지 않아도 될 뿐만 아니라 平面 그물감과 連繫시켜 解析할 必要性도 없어지기 때문에, 流水抵抗의 解析이 매우 簡單해진다고 볼 수 있다.

따라서, 本 研究에서는 그물을 하나의 有孔性 構造物로 간주하고 그것에 대한 물의 流入·流出 特性을 고려하여 流水抵抗을 解析한 後, 첫 단계로 해서 平面 그물감의 流水抵抗에 關係한 지금까지의 實驗 結果들을 適用시켜 그러한 見解의 妥當性과 平面 그물감의 抵抗係數를 함께 調査하였으며, 그 結果로부터 그물의 抵抗係數에 대해 考察하였다.

資料 및 方法

1. 그물 抵抗式의 樹立

그물을 그것의 領域圈 內로 물을 流入한 後 領域圈 밖으로 透過시키는 하나의 有孔性 構造物로 간주하고, 그물 壁의 面積 S를 基準面積으로 택하여 流速 v에서 받는 抵抗 R을

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

으로 취하면, 抵抗係數 k는 領域圈 內로의 물의 流入 程度와 領域圈 밖으로의 물의 透過 程度에 따라 달라진다고 볼 수 있다. 여기서, 물의 流入 程度는 그물 入口의 斷面積을 S_m 이라 할 때 S_m/S 에 따라 달라질 것이고, 물의 透過 程度는 흐름에 垂直인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을 S_n 이라 할 때 S_n/S_m 및 레이놀

즈數 Re 에 따라 달라질 것이므로, k는

$$k = f\left(\frac{S_m}{S}, \frac{S_n}{S_m}, Re\right) \tag{2}$$

로 주어진다고 볼 수 있다. 그런데, k를 決定하는 가장 重要한 要素는 물의 流入 程度이므로

$$k = \alpha \frac{S_m}{S} \tag{3}$$

이라 두면, 比例常數 α 가 물의 透過 程度를 결정한다고 볼 수 있는데, Re 의 影響이 無視될 때는 S_n/S_m 이 커질수록 伴流로 인한 그물실間의 相互干涉이 커져서 물의 透過가 어려워지고, 그로 인해 α 가 指數函數的으로 增加할 것이기 때문에

$$\alpha = b\left(\frac{S_n}{S_m}\right)^n \tag{4}$$

의 형태로 주어지며, Re 의 影響이 無視되지 않을 때는 Re 가 커짐에 따라 물의 透過가 쉬워져서 b가 常數가 되지 못하고 指數函數的으로 減少할 것이기 때문에

$$b = c Re^{-m} \tag{5}$$

으로 주어진다고 볼 수 있다.

따라서, (4)式 및 (5)式을 (3)式에 대입하면 그물의 抵抗係數 k는

$$k = c Re^{-m} \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^n \left(\frac{S_m}{S}\right) \tag{6}$$

이 된다.

2. 平面 그물감에 關係한 資料 및 檢討 方法

지금, 平面 그물감의 抵抗도 (1)~(6)式의 概念에서 다루기로 하고, 흐름에 대해 迎角 θ 로 놓인 경우를 생각하면, S_m 은

$$S_m = S \sin\theta \tag{7}$$

로 주어지며, S_n 은 지름 및 길이가 각각 d 및 l인 발들이 흐름과 ϕ 의 角을 이루면서 각기 獨立的으로 投影된다고 假定하고, 발間의 展開角을 2ϕ 라 하면

$$S_n = \frac{d}{l} \cdot \frac{\sin\delta}{\sin\phi \cos\phi} \cdot S \tag{8}$$

로 주어지는데, 여기서 $\cos\delta = \cos\phi \cos\theta$ 이므로

$$S_n = \frac{d}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2\phi \cos^2\theta}}{\sin\phi \cos\phi} \cdot S \tag{9}$$

가 된다.

또한, Re 는 그물코를 透過하는 물이 層流인가 亂流인가를 나타내는 無次元數인데, 그물감의 경우와 같

1. 流水抵抗의 解析 및 平面 그물감의 資料에 의한 檢討

이 그물코라고 하는 單位 面積에 任意 體積의 밭들이 서로 맞물린 채로 놓여 있는 경우는 그물코의 面積에 비해 밭들의 體積이 얼마나 큰가에 따라 흐름의 狀態가 決定될 것으로 생각된다. 따라서, R_c 에 관한 대표치수로써 그물코의 面積에 대한 밭의 體積의 比 λ 를 택하면, 그물코 하나當에는 2개의 밭이 배당되므로

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2l \sin 2\phi} \quad (10)$$

가 얻어지고, 여기서 물의 動粘性係數를 ν 라 하면 R_c 는

$$R_c = \frac{\lambda \nu}{v} \quad (11)$$

로 주어진다.

그러나, 以上의 (7)~(11)式은 θ 가 0° 에 가깝지 않는 경우, 즉 水流 前後方의 밭들이 서로 겹치는 일 없이 獨立의 投影되고 그물코 속으로 물이 透過되는 경우에 限하여 精確하게 成立한다고 볼 수 있는데, Imai(1986)에 의하면 겹쳐지는 程度가 심해져서 水流方向으로 그물코 孔이 보이지 않게 되는 것은 d/l 및 ϕ 에 따라 달라지기는 하나 보편적으로 5° 未滿의 매우 작은 θ 에서 일어나므로, θ 가 0° 에 극히 가깝지 않는 限 별다른 問題는 생기지 않는다 하겠다. 反面, 完全하게 $\theta=0^\circ$ 가 되면 물이 그물코 속으로 전혀 透過되지 않고 그물 壁을 따라 흘러가게 되므로, 抵抗의 特性 자체가 약간 달라진다. 즉, $\theta=0^\circ$ 일 때는 (7)式에 의해 $S_m=0$ 가 되는데 이는 그물감의 두께를 無視했을 경우이고, 실제로는 그물감의 投影面積과 같은 面積의 물이 계속적으로 그물감 前面에 부딪히기 때문에, 그물콧수가 일정한 경우를 생각하면

$$S_m = S_n \propto dl \sin\phi \quad (12)$$

가 되고, S 도 같은 方法으로 표시하면

$$S \propto \lambda^2 \sin\phi \cos\phi \quad (13)$$

가 되며, 그물감의 대표치수 λ 는 흐름에 平行하게 놓인 平板의 경우와 마찬가지로 그물감의 길이 L 로 精解해야 하므로, R_c 는

$$R_c = \frac{L \mu}{\nu} \quad (14)$$

로 주어지게 된다.

그런데, 平面 그물감의 流水抵抗에 관한 지금까지의 研究들 中 (7)~(14)式의 各 變數 값이 收錄된 資料는 그 大部分이 R_c 의 影響이 無視되는 경우에서의

것이고(Tauti et al. 1925; Miyake, 1927; Miyamoto and Nomura, 1953; Nomura and Mori, 1956; Konagaya, 1971), R_c 의 影響이 無視되지 않는 경우에 대해서는 $\theta=90^\circ$ 인 그물감에 대해 風洞實驗을 행한 Miyazaki and Takahashi(1964)의 結果에 그치고 있다. 따라서, 本 研究에서는 R_c 의 影響이 無視되는 경우에 대해 주로 檢討하기로 하고, $0^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 인 경우에 대해서는 (6)式을

$$k\left(\frac{S}{S_m}\right) = b \left(\frac{S_n}{S_m}\right)^n \quad (15)$$

의 형태로 各各 各 後 b 와 n 의 값을 調査하되, 上記 資料 中 Tauti et al.(1925)의 것은 다른 것에 비해 變動이 매우 컸기 때문에 그것을 제외한 나머지 資料를 이용하였으며(Table 1 및 2), $\theta=0^\circ$ 인 경우에 대해서는 (15)式에 (12)式 및 (13)式을 대입하면 그 때의 抵抗係數 k_0 가 $k_0 \propto d/l \cos\phi$ 로 주어지나, 後流의 影響이 가장 클 때이므로

$$k_0 = b_0 \left(\frac{d}{l \cos\phi}\right)^q \quad (16)$$

이라 두고($q < 1$), Konagaya(1971)의 資料(Table 3)를 이용하여 比例常數 b_0 와 指數 q 의 값을 구하였다. 但, Table 3의 資料는 원래 k_0 대신에 k_0/ρ (ρ : 물의 密度)를 제시한 것이나 Table 1 및 2의 資料와 통일하기 위하여 $\rho=105 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ (海水, 15°C 35‰)를 사용해서 k_0 로 修正하였다.

한편, R_c 의 影響이 無視되지 않는 경우에 대해서는 Miyazaki and Takahashi(1964)의 資料가 그물코의 둘레에 대한 面積의 比 h 를 대표치수로 하는 $R_c (=h\nu/v)$ 와 $k(2/\rho)(S_m/S_n)$ 를 제시하고 ν 를 제시하지 않았기 때문에, $\nu=R_c v/h$ 에 의해 ν 를 구하고, $k(2/\rho)(S_m/S_n)$ 은 S_n/S_m 을 곱하여 $k(2/\rho)$ 로 修正하였다(Table 4). 그러나, 이 資料는 $\theta=90^\circ$ 만의 경우에 대한 風洞實驗의 結果이어서 그것에서 나타난 R_c 의 影響이 水中의 경우 및 90° 以外의 θ 에 대해서도 적용 가능한지가 아직 確認되지 않은 상태이기 때문에, R_c 에 관한 대표치수를 (10)式으로 표시해도 좋은가를 調査하는 데 注力하였고, $\theta=0^\circ$ 의 경우에 대해서는 (5)式 中의 m 값을 제시한 Revin(1959) 및 Wang and Matuda(1988)의 結果를 Table 4의 資料에 의한 結果와 比較하는 데 그쳤다.

Table 1. Values of S_n/S_m and $k(\text{kg} \cdot \text{sec}^2\text{m}^4)$ for nettings at $\theta=90^\circ$ obtained by Miyake(1927; A-1~4), Miyamoto and Nomura(1953; A-5~9) and Nomura and Mori(1956; A-10~56)

Netting	d(mm)	l(mm)	φ (°)	S_n/S_m	k	Netting	d(mm)	l(mm)	φ (°)	S_n/S_m	k
A-1	3.6	39.5	51	0.186	13.3	A-14	0.72	8.45	∕	0.170	17.2
	∕	∕	41	0.184	13.3	A-15	3.41	65.50	∕	0.104	6.1
	∕	∕	19	0.284	21.5	A-16	2.20	41.90	∕	0.105	6.8
	∕	∕	14	0.386	30.4	A-17	3.41	54.00	∕	0.126	7.6
A-2	∕	45.5	57	0.174	11.5	A-18	2.20	27.45	∕	0.160	14.0
	∕	∕	41	0.159	11.6	A-19	7.50	296.0	∕	0.051	3.6
	∕	∕	23	0.219	15.1	A-20	∕	101.0	∕	0.149	12.6
	∕	∕	14	0.335	27.9	A-21	∕	76.5	∕	0.196	20.9
A-3	∕	60.5	51	0.123	8.3	A-22	∕	137.0	∕	0.109	8.0
	∕	∕	36	0.126	7.6	A-23	1.02	32.95	∕	0.062	3.0
	∕	∕	28	0.144	10.4	A-24	1.57	34.15	∕	0.092	5.7
	∕	∕	12	0.308	22.8	A-25	0.67	11.00	∕	0.122	7.7
A-4	∕	75.5	56	0.104	6.8	A-26	0.60	9.10	∕	0.132	8.1
	∕	∕	40	0.098	5.4	A-27	1.04	32.25	∕	0.064	3.4
	∕	∕	26	0.122	7.8	A-28	1.62	45.75	∕	0.071	3.3
	∕	∕	8	0.344	24.9	A-29	2.06	44.35	∕	0.093	4.9
A-5	0.84	12.5	45.0	0.134	10.94	A-30	1.62	31.50	∕	0.103	5.1
	∕	∕	37.2	0.140	11.78	A-31	2.06	32.25	∕	0.128	6.3
	∕	∕	29.7	0.156	14.56	A-32	∕	23.25	∕	0.177	9.4
	∕	∕	16.2	0.251	25.80	A-33	0.68	6.85	∕	0.198	13.5
	∕	∕	5.0	0.774	55.10	A-34	0.85	26.0	∕	0.065	4.0
A-6	2.30	36.0	45.0	0.128	8.46	A-35	1.59	35.9	∕	0.089	4.6
	∕	∕	37.2	0.133	9.58	A-36	0.85	15.5	∕	0.110	6.7
	∕	∕	29.7	0.148	11.38	A-37	1.59	25.3	∕	0.126	7.9
	∕	∕	16.2	0.239	20.46	A-38	1.96	22.9	∕	0.171	12.4
	∕	∕	5.0	0.736	83.40	A-39	0.85	8.0	∕	0.213	13.2
A-7	2.40	50.0	45.0	0.096	7.10	A-40	1.59	14.6	∕	0.218	14.9
	∕	∕	37.2	0.100	7.60	A-41	0.67	29.5	∕	0.045	3.4
	∕	∕	29.7	0.112	8.94	A-42	1.60	41.1	∕	0.078	4.9
	∕	∕	16.2	0.179	16.45	A-43	1.62	30.4	∕	0.107	8.4
A-8	2.80	70.0	45.0	0.080	4.91	A-44	2.41	41.75	∕	0.115	9.1
	∕	∕	37.2	0.083	5.51	A-45	0.79	8.9	∕	0.178	16.6
	∕	∕	29.7	0.093	5.97	A-46	0.85	5.75	∕	0.296	46.3
	∕	∕	16.2	0.149	11.30	A-47	1.71	44.35	∕	0.077	3.6
A-9	1.75	61.5	45.0	0.057	3.68	A-48	2.62	45.75	∕	0.115	4.9
	∕	∕	37.2	0.059	3.80	A-49	1.15	24.00	∕	0.096	4.9
	∕	∕	29.7	0.066	4.44	A-50	∕	14.5	∕	0.159	11.0
	∕	∕	16.2	0.106	7.67	A-51	0.74	6.7	∕	0.221	16.5
	∕	∕	5.0	0.328	35.16	A-52	0.75	19.55	∕	0.077	4.1
A-10	0.79	45.30	45.0	0.035	3.0	A-53	1.99	45.75	∕	0.087	4.6
A-11	1.01	37.95	∕	0.054	3.3	A-54	2.42	46.40	∕	0.104	4.8
A-12	0.91	11.70	∕	0.156	10.7	A-55	2.47	∕	∕	0.106	5.5
A-13	0.80	9.70	∕	0.165	16.0	A-56	0.64	5.95	∕	0.215	16.1

A-1~4 & 15~18 : Manila, A-5~14 : Cotton, A-19~22 : Straw, A-23~26 : Amilan, A-27~33 : Tevilon, A-34~40 : Silklon, A-41~46 : Cremona, A-47~51 : Kurehalon, A-52~56 : Saran.

1. 流水抵抗의 解析 및 平面 그물감의 資料에 의한 檢討

Table 2. Values of S_n/S_m and $k(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ for nettings at $\theta=75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ and 30° obtained by Miyake(1927)

Netting	$\theta=75^\circ$		$\theta=60^\circ$		$\theta=45^\circ$		$\theta=30^\circ$	
	S_n/S_m	k	S_n/S_m	k	S_n/S_m	k	S_n/S_m	k
A-1	0.190	12.9	0.204	11.3	0.236	9.4	0.312	7.5
	0.187	12.8	0.197	10.7	0.220	8.7	0.278	6.6
	0.297	20.8	0.301	18.8	0.311	13.7	0.339	8.9
	0.389	33.0	0.392	28.7	0.399	21.3	0.420	12.5
A-2	0.177	11.8	0.192	10.8	0.226	9.3	0.305	7.9
	0.161	9.8	0.170	8.8	0.191	7.7	0.243	6.2
	0.221	15.8	0.225	11.8	0.236	9.3	0.265	6.7
	0.337	26.2	0.340	22.8	0.346	17.4	0.365	10.5
A-3	0.125	7.4	0.135	5.9	0.155	5.6	0.206	4.9
	0.126	7.4	0.133	5.9	0.146	5.5	0.181	4.1
	0.146	10.5	0.150	7.0	0.160	6.2	0.187	4.2
	0.296	2.42	0.297	18.4	0.301	12.8	0.314	8.2
A-4	0.106	6.0	0.115	5.7	0.135	4.8	0.181	4.6
	0.099	5.4	0.104	4.3	0.116	4.8	0.146	3.3
	0.123	7.4	0.126	5.9	0.133	4.8	0.153	3.5
	0.349	25.7	0.349	19.8	0.352	14.8	0.358	8.8

Table 3. Values of $d/l \cos\phi$ and $k_0(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ for nettings at $\theta=0^\circ$, obtained by Konagaya(1971)

Netting	d/l	$d/l \cos\phi$	k_0	Netting	d/l	$d/l \cos\phi$	k_0
A-57	0.100	0.141	2.21	A-72	0.075	0.106	1.79
A-58	0.088	0.125	1.93	A-73	0.074	0.105	2.06
A-59	0.070	0.099	1.84	A-74	0.062	0.088	1.48
A-60	0.060	0.085	1.73	A-75	0.058	0.082	1.38
A-61	0.040	0.067	1.49	A-76	0.50	0.071	1.34
A-62	0.058	0.082	1.27	A-77	0.127	0.180	2.04
A-63	0.051	0.072	1.43	A-78	0.115	0.163	2.25
A-64	0.042	0.060	0.98	A-79	0.066	0.093	1.48
A-65	0.033	0.047	0.79	A-80	0.063	0.089	1.35
A-66	0.016	0.023	0.48	A-81	0.043	0.061	1.19
A-67	0.075	0.106	1.55	A-82	0.124	0.175	1.97
A-68	0.073	0.103	1.54	A-83	0.090	0.127	1.77
A-69	0.060	0.085	1.30	A-84	0.075	0.106	1.22
A-70	0.059	0.084	1.16	A-85	0.066	0.093	1.48
A-71	0.033	0.047	0.70	A-86	0.050	0.071	1.14

A-57~61: Cremona, A-62~71: Nylon, A-72~76: Saran, A-77~86: Cotton. $\phi=45^\circ$ in all the nettings.

1. 流水抵抗의 解析 및 平面 그물감의 資料에 의한 檢討

Table 4. Continued

Netting (S_n/S_m)	v	$\frac{\lambda v}{v}$	$k \times \frac{2}{\rho}$	Netting (S_n/S_m)	v	$\frac{\lambda v}{v}$	$k \times \frac{2}{\rho}$	Netting (S_n/S_m)	v	$\frac{\lambda v}{v}$	$k \times \frac{2}{\rho}$	Netting (S_n/S_m)	v	$\frac{\lambda v}{v}$	$k \times \frac{2}{\rho}$
B-35 (0.158)	5.85	33	0.3650	B-36 (0.136)	8.51	41	0.2829	B-38 (0.164)	2.32	11	0.4608	B-39 (0.134)	2.46	7	0.3578
	6.25	35	0.3650		8.61	42	0.2815		3.28	16	0.4231		2.78	8	0.3444
	7.47	42	0.3460		9.59	47	0.2693		3.67	18	0.3985		3.87	11	0.3578
	7.62	43	0.3539		2.94	14	0.3378		4.30	21	0.4002		5.42	15	0.3270
	8.56	49	0.3429		3.50	17	0.3312		4.86	24	0.4018		5.46	15	0.3282
B-36 (0.136)	2.09	10	0.3618	B-37 (0.133)	4.52	22	0.3019	5.87	29	0.3772	6.96	19	0.3270		
	2.39	12	0.3631		6.70	32	0.2620	6.71	33	0.3641	6.96	19	0.3176		
	3.78	18	0.3046		6.87	33	0.2700	7.35	36	0.3772	8.11	23	0.3216		
	5.14	25	0.3101		7.68	37	0.2673	8.18	40	0.3624	8.28	23	0.3136		
	5.64	27	0.3006		8.62	41	0.2620				8.81	25	0.3122		
6.98	34	0.2938	9.58	46	0.2474										
7.07	34	0.2829													

結果 및 考察

(15)式에 있어서 b는 그물실 및 매듭의 종류에 따라 달라지는 定數이고, 指數 n은 그물감 各部에서 생기는 伴流로 인한 그물실間의 相互干涉의 程度를 나타내는 값이므로 그 影響이 無視되지 않을 때는 항상 $n > 1$ 이어야 하며, 둘 다 d/l , ϕ 및 θ 에는 관계없는 값이어야 한다. 그런데, 伴流의 影響이 없다 할지라도 d/l 가 커지면 그물감의 面積 中에서 매듭이 차지하는 比率이 相對적으로 커져서 n값이 1보다 커질 우려가 있고, θ 가 어느 값 以下로 작아지면 水流의 前方에 있는 그물실에서 생기는 伴流가 그보다 後方에 있는 그물실에게 後流로 作用하여 b와 n값이 함께 변할지도 모른다. 따라서, 먼저 後流의 影響이 전혀 없다고 볼 수 있는 $\theta = 90^\circ$ 때의 k값을 나타낸 Table 1에서 d/l 가 一定하고 ϕ 만이 달라지는 A-1 그물감부터 A-9 그물감까지에 대해 $k(S/S_m)$ 와 S_n/S_m 의 값을 구하고 이들 사이의 關係를 表示하면 Fig. 1이 얻어진다. 이것에서 n값만을 구해 보면(Table 5), 變動이 크긴 하나 A-5 그물감을 제외하고는 모두가 1보다 크며, 平均值를 보아도 $n = 1.20$ 이다. 다음, A-1 그물감부터 A-4 그물감까지에 대한 Table 1 및 2의 資料를 이용하여 θ 別로 $k(S/S_m)$ 와 S_n/S_m 과의 關係를 표시하고 (Fig. 2) b와 n의 값을 구하면(Table 6), b의 값은 θ 가 90° , 75° 및 60° 일 때는 서로 큰 차이 없으나 θ 가 45° 以下로 작아짐에 따라 크게 減少하며, n값은 變動이

크긴 하나 θ 와 無關하고 平均值도 1.24로서 Table 5의 1.20과 큰 차이 없다.

以上の 結果로부터 볼 때, d/l 가 一定하고 ϕ 만이 변함에도 불구하고 n값이 1보다 커지는 것은 그물감의 面積 中에서 매듭이 차지하는 比率이 d/l 의 增加에 따라 커지는 影響 때문이 아니라, 그물감 各部에서 생기는 伴流로 인한 그물실間의 相互干涉이 S_n/S_m 의

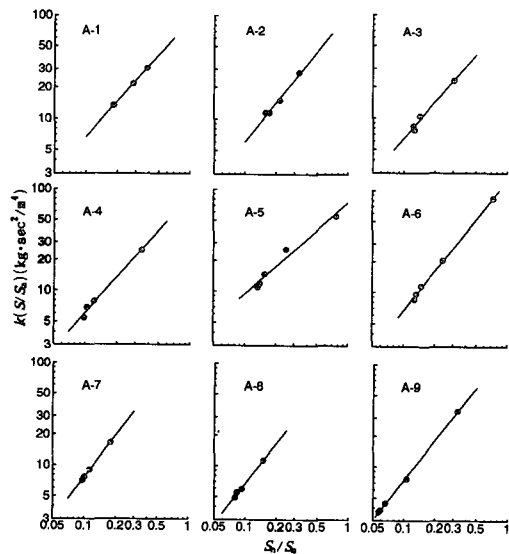


Fig. 1. Relation between $k(S/S_m)$ and S_n/S_m at $\theta = 90^\circ$ of nettings, from A-1 to A-9 listed in Table 1, with fixed d/l and varying ϕ .

Table 5. Values of n in equation (15) for nettins, from A-1 to A-9 at $\theta=90^\circ$, fixed in d/l and varied in ϕ

Netting	d/l	n
A-1	0.091	1.12
A-2	0.079	1.24
A-3	0.060	1.14
A-4	0.048	1.15
A-5	0.067	0.90
A-6	0.064	1.28
A-7	0.048	1.34
A-8	0.040	1.30
A-9	0.029	1.29
Mean	-	1.20

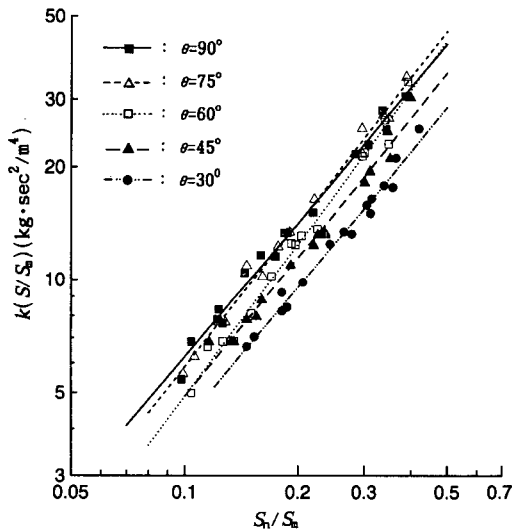


Fig. 2. Relation between $k(S_n/S_m)$ and S_n/S_m at $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ and 90° of nettins, from A-1 to A-4 listed in Table 1 and 2.

Table 6. Values of b and n in equation (15) for each θ of nettins, from A-1 to A-4

$\theta(^{\circ})$	b	n
90	95	1.18
75	109	1.27
60	103	1.32
45	82	1.22
30	65	1.19
Mean	-	1.24

增加에 따라 커지기 때문이라는 것이 명확하며, n 값이 그물실이나 매듭의 종류 및 θ 의 값에 따라 거의 차이나지 않는 것으로 보아 相互干涉의 정도는 그물실 및 매듭의 종류나 θ 에 관계없이 S_n/S_m 의 값만에 따라 달라진다는 것을 알 수 있다. 그러나, θ 가 45° 이하로 작아짐에 따라 b 의 값이 크게 減少하는 것은 $\theta \leq 45^\circ$ 에서 前記했던 後流의 影響이 나타나기 때문이라 볼 수 있으므로, 그물감의 抵抗은 後流의 影響을 전혀 받지 않는 $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 의 경우와 後流의 影響을 받는 $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 의 경우로 나누어 생각해야 할 것 같다. 따라서, Table 1 및 2의 資料에 있어 먼저 $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 의 것들을 모두 綜合하여 $k(S_n/S_m)$ 와 S_n/S_m 과의 關係를 표시하고(Fig. 3), 그로부터 b 와 n 값을 구하면 각각 $100(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 및 1.19로 주어지므로, 이들의 近似值로써 $100(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 및 1.2를 택하고 이들 값과 (7)式 및 (9)式을 (15)式에 대입하면

$$k = 100 \left(\frac{d}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \phi \cos^2 \theta}}{\sin \phi \cos \phi} \right)^{1.2} \sin^{-0.2} \theta \quad (17)$$

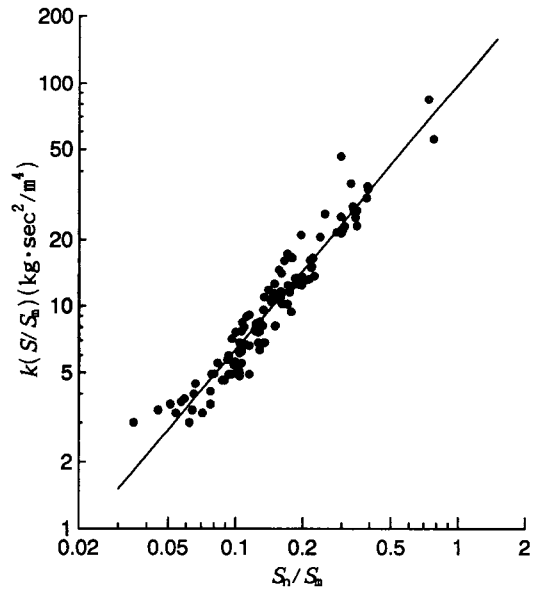


Fig. 3. Relation between $k(S_n/S_m)$ and S_n/S_m for all the nettins at $\theta=60^\circ \sim 90^\circ$ in Table 1 and 2.

가 얻어진다. 한편, $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 인 경우는 Table 2에서 보았던 바와 같이 $\theta=15^\circ$ 때의 測定值가 없어 Table 6의 資料만으로 b 의 變化를 구하면 信賴性이 떨어질 수 밖에 없기 때문에, 대신 $\theta=0^\circ$ 때의 測定值(Table

1. 流水抵抗의 解析 및 平面 그물감의 資料에 의한 檢討

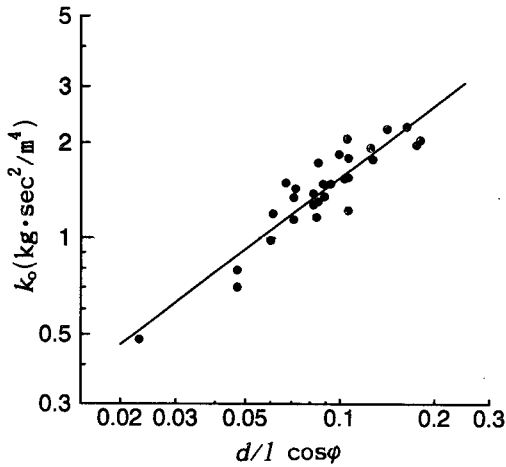


Fig. 4. Relation between K_0 and $d/l \cos \phi$ at $\theta=0^\circ$ of nettings listed in Table 3.

3)로부터 b_0 를 구하여 함께 이용하기로 하고, (16)式의 關係를 표시하면(Fig. 4)

$$k_0 = 9 \left(\frac{d}{l \cos \phi} \right)^{0.8} \quad (18)$$

이 얻어진다. 여기서, $l \cos \phi$ 는 발問의 間隔을 나타내고 d 는 그물감 表面의 突起 크기를 나타내어 $d/l \cos \phi$ 는 그물감 表面의 粗度를 나타내는 셈이 되므로, 결국 k_0 는 R_e 의 影響이 無視될 경우 그물감 表面의 粗度에 따라 달라진다는 結果가 되며, 指數 q 의 값이 1보다 크게 작은 것으로 보아 後流의 影響을 매우 크게 받은 것으로 생각된다. 또한, $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 인 경우에 있어 後流의 影響은 S_m/S 에 따라 달라질 것으로 생각되므로, 7式에서의 $b_0 = 9(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 와 Table 6의 b 값들을 함께 사용하여 b 의 變化를 S_m/S , 즉 $\sin \theta$ 의 函數로 표시하면 대략 $b = 100 \sin^{0.6} \theta$ 가 얻어진다. 따라서, 이것을 (17)式의 b 값 대신으로 사용하면 $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 인 경우의 抵抗係數 k 는

$$k = 100 \left(\frac{d}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \phi \cos^2 \theta}}{\sin \phi \cos \phi} \right)^{1.2} \sin^{0.4} \theta \quad (19)$$

으로 표시된다.

또한, (17)式 및 (19)式에서 $\theta=90^\circ$ 때의 k 값인 k_{90} 을 취하면

$$k_{90} = 100 \left(\frac{d}{l} \cdot \frac{1}{\sin \phi \cos \phi} \right)^{1.2} \quad (20)$$

이 되므로, 이것을 다시 (17)式 및 (19)式과 比較하면 k 는 $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 의 範圍에서는

$$k = k_{90} (1 - \cos^2 \phi \cos^2 \theta)^{0.6} \sin^{-0.2} \theta \quad (21)$$

가 되고, $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 의 範圍에서는

$$k = k_{90} (1 - \cos^2 \phi \cos^2 \theta)^{0.6} \sin^{0.4} \theta \quad (22)$$

가 된다.

다음, R_e 에 관한 대표치수를 (10)式으로 표시해도 좋은가를 調査하기 위하여 (15)式에 $n=1.2$ 를 대입하고 變形하면 $b = k/(S_m/S_m)^{1.2} (S_m/S)$ 이 되므로, 이것에 의해 Table 4의 資料로부터 각 그물감에 대한 b 의 값을 計算하고 (5)式의 關係, 즉 $b(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 와 $\lambda v/v$ 와의 關係를 표시하면(Fig. 5), b 의 값은 하나의 曲線 위에 비교적 정연하게 併記되어 λ 가 R_e 에 관한 대표치수로써 適合한 것임을 알 수 있으며, 이것에서 $c = 4.5 \times \rho/2$ 및 $m=0.10$ 으로 주어지므로 $\rho = 105(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 를 취하면 $c = 240(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 이 된다. 그런데, Table 4의 k 값은 원래 水中에서 實驗한 結果(Miyamoto et al., 1952; Miyamoto and Nomura, 1953)보다 약간 더 크다는 것이 지적된 바 있기 때문에(Miyazaki and Takahashi, 1964), 水中에서는 c 가 上記 값보다 더 작아질 것으로 예상되나, $m=0.10$ 은 같은 資料를 사용해서 Miyazaki and Takahashi(1964)가 구한 $m=0.28$ 보다 크게 작다. 이러한 差異는 Miyazaki and Takahashi(1964)가 사용한 抵抗式 및 대표치수가 本研究에서의 것들과 다르기 때문이겠지만, 이에 관한 지금까지의 研究 結果들을 綜合해 보더라도 그물감의

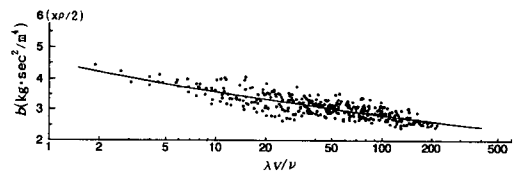


Fig. 5. Relation between b and $\lambda v/v$ at $\theta=90^\circ$ of nettings listed in Table 4.

抵抗係數에 대한 R_e 의 影響은 그다지 크지 않은 것으로 보는 것이 좋을 것 같다. 즉, R_e 의 影響에 관한 지금까지의 研究들은 대표치수로써 발의 지름 d 를 사용해 왔는데, Tauti(1954)는 $du/v = 5 \sim 2 \times 10^3$ 의 범위에서 그 影響이 無視된다고 하였고, Fridman(1973)은 $du/v > 6 \times 10^2$ 에서 R_e 의 影響이 극히 작아 無視 可能하다고 하였으며, Imai(1986)는 $du/v = 6 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3$ 의 범위에서 實驗하고 이 범위 내에서는 R_e 의 影響이 無視된다고 하는 등 k 에 대한 R_e 의 影響이 비교적 작

다는 결과를 제시해 온 반면, 유독 Mayazaki and Takahashi(1964)만이 대표치수로써 그물코의 둘레에 대한面積의 比를 사용하여 R_e 의 影響이 無視되는 것은 적어도 $R_e \geq 1 \times 10^3$ 의 領域이고 그 影響이 완전히 無視되는 것은 $R_e \geq 2 \times 10^4$ 의 領域이라 하였기 때문에, k 에 대한 R_e 의 影響은 비교적 작은 편에 속한다고 간주하는 것이 좋을 것 같다.

한편, $\theta=0^\circ$ 인 경우의 R_e 의 影響에 대해서는 (5)式의 關係에 대해 Revin(1959)이 $m=0.14$ 를, Wang and Matuda(1988)가 d/l 및 φ 가 서로 다른 여러 그물감에 대한 平均値로서 $m=0.07$ 을 제시하였는데, 이들 둘 다 上記한 $m=0.10$ 에 가까운 값이어서 $\theta=90^\circ$ 때와 R_e 의 影響에 큰 差異가 없을 것으로도 豫想되지만, 現段階로서는 斷定을 내리기가 곤란하다.

以上の 結果들로부터 보면, (1)~(6)式은 그물의 流水抵抗을 解析하기 위한 것이나, 그 基礎 段階로 해서 平面 그물감에 적용시켜 본 結果 그 抵抗이 (17)式 및 (19)式에 의해 精度 높게 표현되고 있기 때문에, 이들 式의 各 係數 값을 (6)式에 대입하면 R_e 의 影響을 받지 않을 경우의 그물의 抵抗係數 $k(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 는 그물 各部의 迎角 θ 가 $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 의 범위에 들어올 경우

$$k = 100 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.2} \left(\frac{S_m}{S} \right) \quad (23)$$

으로 주어지고, $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 의 범위에 들어올 경우는

$$k = 100 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.2} \left(\frac{S_n}{S} \right)^{0.6} \quad (24)$$

으로 주어진다는 것을 알 수 있다. 但, 本 研究에서는 平面 그물감의 경우 $\theta=0^\circ$ 일 때 $S_m=0$ 이 되므로 $\theta=0^\circ$ 인 경우에 관해서도 따로 考察하였지만, 실제 그물에서는 $S_m=0$ 가 되는 경우는 전혀 없고 단지 局部的으로 매우 드물게 $\theta=0^\circ$ 가 形成될 뿐이며 그 部分의 抵抗도 그물의 全 抵抗에는 거의 影響을 끼치지 못할 것이기 때문에, 설사 $\theta=0^\circ$ 인 部分이 形成되더라도 그곳에서 생기는 抵抗의 差異는 無視하고 (23)式 또는 (24)式에 의해 抵抗係數를 구해도 실제적으로는 아무런 問題가 생기지 않는다 하겠다. 또한, (23)式 또는 (24)式에 의하면 어떤 構造, 어떤 形狀의 그물에 대해서도 S , S_m 및 S_n 의 값만을 구함으로써 抵抗係數 k 가 쉽게 구해지는데, 특히 S_n 은 그물의 構造 및 形狀에 관계없이 그 값만을 測定해 내면 되므로, S_n 의

간편한 測定 方法이나 計算 方法이 얻어진다고 하면 그물의 流水抵抗은 그 形狀을 구할 필요 없이 매우 간단하게 計算되어진다 하겠다.

要 約

本 研究에서는 그물을 그것의 領域圈 内로 물을 流入한 후 領域圈 밖으로 透過시키는 하나의 有孔性 構造物로 간주하고, 壁 面積이 S 되는 그물이 流速 v 에서 받는 抵抗 R 을 $R=kSv^2$ 으로 취하여, 레이놀즈數를 R_e , 그물 入口의 斷面積을 S_m , 흐름에 垂直인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을 S_n 이라 할 때 抵抗係數 k 를

$$k = c R_e^{-m} \left(\frac{S_n}{S} \right)^n \left(\frac{S_m}{S} \right)$$

으로 표시한 後, 지금까지 행해진 平面 그물감에 대한 抵抗 實驗 結果들을 이용하여 이 式의 妥當性과 各 係數 값을 함께 調査하였다. 調査 結果, 발의 지름이 d , 그물코의 크기가 $2l$, 展開角이 2φ 인 그물감의 R_e 에 관한 대표치수를 그물코의 面積에 대한 발의 體積의 比 λ , 즉

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

로 택하였을 때, c 와 m 의 값은 各各 $240(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 및 0.1 로 一定해졌고, n 의 값은 1.2 로서 1.0 보다 컸기 때문에 매듭과 발에서 생기는 伴流가 그물코 속으로의 물의 透過를 나쁘게 하여 抵抗을 增大시킨다는 것을 알 수 있었다. 反面, R_e 가 커서 그 影響이 無視되는 경우는 cR_e^{-m} 의 값이 常數가 되는데, 그 값은 흐름에 대한 그물감의 迎角 θ 가 $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 의 區間에 있을 때 $100(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 으로 주어졌고, $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 의 區間에 있을 때는 後流의 影響 때문에 $100(S_m/S)^{0.6}(\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4)$ 으로 주어졌다. 그런데, 平面 그물감에 대한 S_m 및 S_n 의 값은 各各

$$S_m = S \sin \theta$$

및

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

로 주어지므로, 이들과 上記 c , m 및 n 값을 이용하면 平面 그물감의 抵抗係數 k 가 구해지는데, $\theta=0^\circ$ 인 경우는 抵抗 特性 자체가 변하여 k 가 그물감 表面의 粗度에 따라 달라졌으므로

1. 流水抵抗의 解析 및 平面 그물감의 資料에 의한 檢討

$$k=9\left(\frac{d}{l \cos \phi}\right)^{0.8}$$

으로 주어졌다. 그러나, 以上の 結果를 實際 그물에 適用할 때는 $\theta=0^\circ$ 때의 것은 고려하지 않아도 되고, 前記한 c 및 m 값도 不充分한 資料에 의한 것들이기 때문에 R_c 의 影響이 無視되는 경우의 것만을 이용하면, 그물 各部의 θ 가 $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$ 의 區間 또는 $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 의 區間에 들어오는 그물의 抵抗係數 $k(\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4)$ 는

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

또는

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

으로 주어진다는 것을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- Fridman, A. L. 1973. Theory and design of commercial fishing gear. Israel programs for scientific translations, Jerusalem, pp. 62.
- Imai, T. 1986. Fundamental studies of the fluid dynamical resistance on the plane netting. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ., 35(2), 169~253 (in Japanese).
- Konagaya, T. 1971. Resistance of a plane net set parallel to a stream-III. The relationship between the drag coefficient and hanging coefficient or angle of incidence. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 37(11), 1033~1036 (in Japanese).
- Miyake, Y. 1927. On the plane net, 1. Resistance of plane nets in water. J. Imp. Fish. Inst., 23(2), 21~31 (in Japanese).
- Miyamoto, H., M. Nomura and Y. Shimosaki. 1952. Resistance of plane net against flow of water-I. Effect of knot type on resistance of net. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 17(8, 9), 39~44 (in Japanese).
- Miyamoto, H. and M. Nomura. 1953. Resistance of plane net against flow of water-II. Effect of different shapes of the mesh upon the resistance of net against the flow, Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 18(7), 327~330 (in Japanese).
- Miyazaki, Y. 1964. Basic investigation on the resistance of fishing nets-VI. The resistance of plane nets placed obliquely to the stream. J. Tokyo Univ. Fish., 50(2), 125~134 (in Japanese).
- Miyazaki, Y. 1964. Basic investigation on the resistance of fishing nets-XI. Discussion on the resistance of bag nets. J. Tokyo Univ. Fish., 50(2), 169~184 (in Japanese).
- Miyazaki, Y. and T. Takahashi. 1964. Basic investigation on the resistance of fishing nets-III. The resistance of plane nets. J. Tokyo Univ. Fish., 50(2), 95~103 (in Japanese).
- Nomura, M. and K. Mori. 1956. Resistance of plane net against flow of water-III. Effect of kind of fibers on the resistance of net. Bull. Japanese Soc. Fish., 21(11), 1110~1113 (in Japanese).
- Revin, A. S. 1959. Investigation of the effect of the trawl net structure and shape on its resistance in a water flow. Trudy VNIRO 41, 66~82 (in Russian).
- Tauti, M. 1954. Fishing gear physics(3rd edit.). Fishing gear lab. Tokyo Univ. Fish., pp. 61~65 (in Japanese).
- Tauti, M., T. Miura and K. Sugii. 1925. Resistance of plans nets in water. J. Imp. Fish. Inst., 21(2), 25~34 (in Japanese).
- Wang, E. G. and K. Matuda. 1988. Measurements of the drag of plane netting set parallel to a water flow in streamlined frame. Nippon Suisan Gakkaishi, 54(1), 9~15 (in Japanese).

1994년 11월 1일 접수

1995년 3월 4일 수리