

그물漁具의 流水抵抗과 模型守則

5. 底層 트롤그물의 曳網抵抗

金 大 安

麗水水産大學校 海洋生産學科

Flow Resistance and Modeling Rule of Fishing Nets

5. Total Resistance of Bottom Trawl Nets Subjected Simultaneously to the Water Flow and the Bottom Friction

Dae-An KIM

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

In order to express exactly the total resistance of bottom trawl nets subjected simultaneously to the water flow and the bottom friction, the influence of frictional force was added to the formular for the flow resistance of trawl nets obtained by previous paper and the experimental data obtained by other investigators were analyzed by the formula. The analyzation produced the total resistance R (kg) expressed as

$$R = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} S v^{1.8} + 20(Bv)^{1.1},$$

where S (m²) was the wall area of nets, S_m (m²) the cross-sectional area of net mouths, S_n (m²) the area of nets projected to the plane perpendicular to the water flow, B (m) the made-up circumference at the fore edge of bag parts, and v (m/sec) the dragging velocity. From the viewpoint that expressing R in the form of $R=kSv^2$ was a usual practice, however, the resistant coefficient k (kg · sec²/m⁴) was compared with the factors influencing it by reusing the experimental data. The comparison gave that the coefficient k might be expressed approximately as a function of BL only and so the resistance R (kg) as

$$R = 18\alpha B^{0.5} L v^{1.5},$$

where L (m) was the made-up total length of nets and $\alpha=S/BL$. But the values of α in the nets did not deviate largely from their mean, 0.48, for all the nets and so the general expression of R (kg) for all the bottom trawl nets could be written as

$$R = 9 B^{0.5} L v^{1.5}.$$

Key words : bottom trawl nets, dragging resistance, resistance coefficient

緒 論

底層 트롤그물은 曳網時에 流水抵抗과 海底 摩擦抵抗을 동시에 받는다고 볼 수 있는데, 이에 관한 지금까지의 研究들은 海底 摩擦의 영향을 지적한 Nomura (1951)와 Honda (1954) 및 Miyazaki (1957)를 제외하고는 대부분이 流水抵抗만을 생각하였고 또 그것과 流速과의 관계만을 調査하는 데 그쳤으며, 비록 流水抵抗만을 생각한 것이라 할지라도 그물의 規模나 構造, 規格 등을 이용해서 그 抵抗을 해석하려 한 것은 Koyama (1962)와 Koyama et al. (1972) 및 Koyama (1974)에 불과하다. 그러나, 이들 중에서도 가장 구체적인 調査를 행한 Koyama (1974)는 트롤그물의 抵抗을 流速의 제곱에 비례한다고 무리하게 단정해버렸을 뿐만 아니라, 그물의 구체적인 規格 대신

에 간편성을 重視한 代表値를 적용하였기 때문에 抵抗係數라고 구한 값도 실제의 것과는 다를 뿐만 아니라 매우 큰 變動을 보일 수 밖에 없었으며, 中·大型 그물 (Koyama, 1974)과 小型 그물 (Koyama et al., 1972) 사이에 抵抗係數가 크게 차이난다는 것을 보았지만 그 이유에 대해서도 설명하지 않았다.

따라서, Koyama (1974)가 제시한 抵抗式은 實用的인 側面에서 상당한 問題點을 지닌다는 것이 이미 지적된 바 있지만 (Kim, 1984), 근본적으로는 流水抵抗과 海底 摩擦抵抗의 特性이 아직 규명되지 못하고 있고, 그물의 規模나 構造, 規格 등을 이용해서 이들 抵抗을 해석할 수 있는 단계에도 이르지 못하였기 때문에, 本 研究에서는 트롤그물의 曳網抵抗에 관한 지금까지의 實驗 結果들을 수집하여 정리하고, 前報 (Kim, 1997)에서 調査한 流水

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 | B (m) | L (m) | S (m ²) | Vessel used | Reference |
|-----|-------|-------|-------|---------------------|----------------|----------------------|
| A | 6 | 25.36 | 38.25 | 526 | 100G/T 310ps | Koyama (1974) |
| B | 〃 | 31.49 | 58.51 | 836 | 314G/T 1200ps | 〃 |
| C | 〃 | 30.68 | 69.50 | 914 | 1500G/T 2700ps | 〃 |
| D | 〃 | 37.99 | 73.55 | 1279 | 〃 | 〃 |
| E | 〃 | 38.75 | 83.23 | 1503 | 1800G/T 3150ps | 〃 |
| F | 〃 | 46.53 | 82.10 | 1812 | 2900G/T 3150ps | 〃 |
| G | 〃 | 37.79 | 76.05 | 1510 | 〃 | 〃 |
| H | 8 | 51.96 | 85.98 | 2345 | 3000G/T 3500ps | 〃 |
| I | 6 | 47.02 | 79.07 | 1888 | 〃 | 〃 |
| J | 2 | 43.64 | 81.97 | 1446 | 2900G/T 3150ps | 〃 |
| K | 6 | 36.61 | 68.64 | 1369 | 〃 | 〃 |
| L | 4 | 14.04 | 13.78 | 84 | 47G/T 235ps | Koyama et al. (1972) |
| M | 2 | 18.10 | 42.90 | 446 | 273G/T 480ps | Hamuro (1959) |
| N | 6 | 45.08 | 79.90 | 1483 | 2275G/T 3600ps | Kim (1984) |
| O | 8 | 49.10 | 78.55 | 1762 | 〃 | 〃 |
| P | 10 | 55.14 | 89.90 | 2227 | 〃 | 〃 |
| Q | 〃 | 70.92 | 82.31 | 2472 | 〃 | 〃 |

抵抗만을 받을 때의 抵抗式에 海底 摩擦力의 영향을 추가하여 實驗 結果들과 비교함으로써, 底層 트롤그물의 曳網抵抗을 精度 높게 표현해내는 것을 目的으로 하였다.

資料 및 方法

本 研究에서는 底層 트롤그물의 曳網抵抗에 관한 지금까지의 實驗 結果들을 수집하되, 그물 設計圖나 曳網 速度別 抵抗 測定値가 명시되어 있어 前報(Kim, 1997)의 抵抗式에 의한 해석이 가능한 것에 한하였으며, 이 경우 그물의 曳網抵抗은 漁具 全 抵抗에서 끌줄과 후릿줄 및 展開板의 抵抗을 공제한 값으로 하였다.

Table 1은 本 研究에서 수집한 實驗 結果들에 대한 사용 그물의 主要 規格과 使用 船舶의 크기, 機關 馬力 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 뼈대 줄이 있는 곳에서는 그것의 길이로 하고, 뼈대 줄이 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 平均値를 택하였다.

Table 2는 각 그물에 대한 曳網 速度 v別 抵抗 R 값

을 나타내는데, 이것에서 Koyama (1974)의 것은 원래 漁獲이 있음으로 해서 抵抗이 급증한 것도 함께 제시하였고, 葉室 (1959)의 것은 變動이 비교적 큰 測定値도 함께 포함하고 있었으나, 本 研究에서는 이들 값을 제외하였다.

結果 및 考察

底層 트롤그물은 流水抵抗 R_w 와 海底와의 摩擦抵抗 R_f 를 동시에 받기 때문에, 全 抵抗力 R 은

$$R = R_w + R_f \quad (1)$$

로 주어지고, 여기서 R_w 는 그물의 壁 面積을 S, 流速을 v, 抵抗係數를 k_w 라 할 때

$$R_w = k_w S v^2 \quad (2)$$

로 표시되며 (Kim, 1997), R_f 는 海底와의 動摩擦係數를 μ , 단위 길이당의 발줄에 작용하는 法壓力을 P, 발줄 길이의 曳網 方向에 수직인 성분을 G라 할 때

$$R_f = \mu P G \quad (3)$$

로 표시할 수 있다.

그런데, 트롤그물의 流水抵抗만을 調査한 前報(Kim, 1997)에 의하면 그물 入口의 斷面積을 S_m (m²), 흐름에 수직인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을 S_n (m²), 그

Table 2. Values of resistance *R* and velocity *v* for nets listed in Table 1

| Net | <i>v</i> (m/sec) | <i>R</i> (kg) | Net | <i>v</i> (m/sec) | <i>R</i> (kg) | Net | <i>v</i> (m/sec) | <i>R</i> (kg) | |
|------|------------------|---------------|------|------------------|---------------|-------|------------------|---------------|-------|
| A | 1.40 | 2140 | F | 2.09 | 11499 | M | 1.38 | 3000 | |
| | | | | | 2.19 | | 14272 | 1.39 | 3000 |
| B | 1.40 | 3520 | G | 1.99 | 9171 | | 1.40 | 2800 | |
| | 1.50 | 4110 | | 2.14 | 10457 | | 1.47 | 2800 | |
| | 1.50 | 4510 | | 2.30 | 12050 | | 1.83 | 3800 | |
| | 1.65 | 4280 | | 2.40 | 13242 | | 1.85 | 3600 | |
| | 1.70 | 4850 | | | | | 1.87 | 3900 | |
| | 1.80 | 5102 | H | 1.75 | 10200 | | 2.10 | 4700 | |
| | 1.80 | 5290 | | 1.85 | 11450 | | 1.80 | 9450 | |
| 1.90 | 5340 | 1.89 | | 10950 | 1.90 | | 10425 | | |
| C | 1.70 | 6505 | H | 1.99 | 11890 | N | 2.00 | 11420 | |
| | 2.06 | 8440 | | 2.05 | 13950 | | 2.10 | 12400 | |
| | 2.29 | 9900 | | 2.14 | 13890 | | 2.20 | 13200 | |
| | 2.40 | 10030 | | 2.25 | 13610 | | | | |
| D | 1.71 | 7460 | I | 1.89 | 12340 | O | 1.80 | 9750 | |
| | 1.71 | 8700 | | 1.99 | 11710 | | 1.90 | 10783 | |
| | 1.83 | 9934 | | 2.09 | 13960 | | 2.00 | 11560 | |
| | 1.97 | 10670 | | 2.14 | 16010 | | 2.10 | 12575 | |
| | 2.05 | 12340 | | 2.19 | 15770 | | 2.20 | 13675 | |
| E | 1.93 | 15030 | | | 2.19 | 17740 | P | 1.50 | 9367 |
| | 1.95 | 8850 | | | 2.35 | 17400 | | 1.60 | 9480 |
| | 1.95 | 11850 | | J | 2.19 | 8843 | | 1.80 | 11033 |
| | 2.00 | 15130 | | | 2.30 | 9648 | | 1.90 | 12950 |
| | 2.05 | 14090 | | | 2.34 | 11121 | | 2.00 | 13150 |
| | 2.08 | 16000 | K | 2.09 | 8205 | 2.10 | | 14750 | |
| | 2.13 | 18620 | | 2.40 | 10953 | 2.20 | | 15700 | |
| | 2.13 | 20220 | | L | 1.00 | 406 | | Q | 1.50 |
| 2.15 | 20620 | 1.20 | 497 | | 1.70 | 9650 | | | |
| | | 1.20 | 498 | | 1.80 | 10450 | | | |
| F | 1.89 | 9538 | 1.30 | 634 | 1.90 | 10925 | | | |
| | 1.99 | 10656 | | | 2.00 | 12067 | | | |
| | 2.04 | 11092 | | | 2.10 | 12650 | | | |

물코의 面積에 대한 발의 體積의 比 λ (m), 즉

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2l \sin 2\phi} \tag{4}$$

을 대표치수로 하는 레이놀즈數를 $R_r (= \lambda v / \nu, \nu$: 물의 動粘性係數)라 할 때 (d : 그물실의 지름, $2l$: 그물코의 크기, 2ϕ : 그물코의 展開角), 抵抗係數 k_w ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)는 R_r 와 S_n/S_m 및 S_m/S 에 따라 달라지고, 一般 底層 트롤 그물의 경우는 R_r 의 값이 臨界 R_r 인 100을 초과하여 그 영향이 무시되므로, 流水抵抗 R_w (kg)는

$$R = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} S v^{1.8} \tag{5}$$

으로 주어지며 (S : m^2, v : m/sec), 이것에서 S_n/S_m 의 값

은 v 의 변화에 관계 없이 거의 일정하므로 트롤그물과 壁 面積이 같은 圓錐形 자루그물로부터 구해도 된다는 것을 알 수 있었다.

한편, (3)式 中の μ 는 실제로 측정한다는 것도 극히 곤란하나, 底層 트롤그물들은 발줄의 構成 方法이 대략 유사하고 操業 漁場의 底層도 뽕 또는 모래뽕로서 크게 차이 나지 않기 때문에 항상 일정하다고 볼 수 있으며 (Koyama, 1974), G 는 v 에 따라 網幅이 변화하는 관계로 v 와 함께 변한다고 볼 수 있으나, 網幅은 R 와 展開板의 展開力에 의해 결정되고 이들 중 展開板의 展開力은 v^2 에 비례하는 데 비해 R 은 (5)式을 보아도 그에 미치지 못하므로, v 가 증가함에 따라 G 는 약간씩 커진다고 볼 수 있

고, v 가 일정할 때는 자루그물 앞끝의 完成 둘레를 B (m)라 할 때 $G \propto B$ 의 관계에 있다고 볼 수 있다. 反面, P 는 발들의 沈降力에서 뜬의 浮力과 流水抵抗 R_w 에 의해 발줄에 전달되는 張力の 垂直 成分을 뺀 값으로 주어지고, 이들 중 뜬의 浮力과 발들의 沈降力은 각 그물별로 항상 일정하므로 P 는 R_w , 즉 v 가 커질수록 작아진다고 볼 수 있는데, 발들의 沈降力에 충분한 여유가 있는 경우는 그렇지 않으며, 規模가 서로 다른 그물들에 있어서는 B 가 큰 그물일수록 크다고 볼 수 있다. 따라서, 이들 G 와 P 를 정확하게 해석한다는 것은 매우 복잡한 일에 속하나, 둘다 B 가 일정한 각각의 그물에서는 v 에 따라 달라지고, v 가 일정할 때는 각 그물의 B 값에 따라 달라진다고 볼 수 있기 때문에, 결국 R_f 는 Bv 의 函數가 된다고 볼 수 있다.

따라서, Table 1의 그물들에 대해 이상의 관계를 조사해 보기 위하여, 먼저 前報 (Kim, 1997)에서와 마찬가지로 (4)式 中の d 와 $2l$ 은 그물의 全 部位에 걸친 加重 平均值를 취하고 ϕ 는 그물의 중앙부에 해당하는 天井網에서의 값을 취하여 λ 를 구한 후, 이것과 $v=1.19 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ (海水 15°C 35‰) 및 Table 2에 표시된 각 그물별 v 의 最小値와 最大値를 사용하여 R_f 의 값을 계산해 보면 (Table 3), 모든 그물에서 臨界 R_c 인 100을 크게 초과하기 때문에, 우선 Table 1의 그물들에 대한 R_w 는 (5)式을 사용해서 구해도 좋다는 結果가 된다. 그런데, (5)式 中の S_n/S_m 은 트롤그물을 圓錐形 자루그물로 간주할 경우 前報 (Kim, 1997)에 의해

Table 3. Values of R_c for each net

| Net | d (mm) | $2l$ (mm) | 2ϕ | R_c |
|-----|----------|-----------|---------|---------|
| A | 2.32 | 58 | 52 | 435 |
| B | 3.10 | 124 | 60 | 331~449 |
| C | 3.42 | 122 | ↗ | 497~702 |
| D | 3.68 | 147 | 66 | 456~546 |
| E | 4.00 | 143 | 60 | 658~734 |
| F | 4.37 | 141 | ↗ | 754~874 |
| G | 3.53 | 141 | ↗ | 535~645 |
| H | 3.90 | 156 | ↗ | 521~669 |
| I | 4.13 | 145 | ↗ | 678~843 |
| J | 3.81 | 141 | ↗ | 686~733 |
| K | 3.64 | 140 | ↗ | 602~692 |
| L | 2.06 | 55 | 80 | 207~269 |
| M | 3.18 | 101 | 60 | 421~641 |
| N | 3.75 | 147 | ↗ | 525~642 |
| O | 3.55 | 151 | ↗ | 458~560 |
| P | 3.60 | 153 | ↗ | 387~568 |
| Q | 3.05 | 218 | 56 | 203~284 |

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

Table 4. Value of S_n/S_m for each net

| Net | L_b (m) | θ (°) | d/l | S_n/S_m |
|-----|-----------|--------------|-------|-----------|
| A | 20.79 | 11.2 | 0.080 | 0.493 |
| B | 31.86 | 9.1 | 0.050 | 0.378 |
| C | 37.30 | 7.5 | 0.056 | 0.508 |
| D | 38.25 | 9.1 | 0.050 | 0.388 |
| E | 46.53 | 7.6 | 0.056 | 0.501 |
| F | 46.21 | 9.2 | 0.062 | 0.465 |
| G | 41.28 | 8.4 | 0.050 | 0.408 |
| H | 51.80 | 9.2 | 0.050 | 0.375 |
| I | 43.26 | 10.0 | 0.057 | 0.396 |
| J | 42.27 | 9.5 | 0.054 | 0.393 |
| K | 39.78 | 8.4 | 0.052 | 0.424 |
| L | 8.13 | 16.0 | 0.075 | 0.374 |
| M | 18.83 | 8.8 | 0.063 | 0.492 |
| N | 45.80 | 9.0 | 0.051 | 0.390 |
| O | 44.10 | 10.2 | 0.047 | 0.321 |
| P | 56.50 | 8.9 | 0.047 | 0.363 |
| Q | 56.57 | 11.5 | 0.028 | 0.170 |

$$\frac{S_n}{S_m} = \frac{d}{l} \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2\phi \cos^2\theta}}{\sin\phi \cos\phi \sin\theta} \quad (6)$$

으로 주어지므로, 이것에서 흐름에 대한 그물감의 迎角 θ 는 前報 (Kim, 1997)에서와 마찬가지로 자루그물 앞끝의 完成 둘레 B 와 자루 힘줄 및 끝자루 힘줄의 總 길이 L_b 를 사용하여

$$\sin\theta = \frac{B}{2\pi L_b} \quad (7)$$

에 의해 구하고 d/l 와 ϕ 는 Table 3의 값을 이용하면, S_n/S_m 의 값은 Table 4와 같아진다. 따라서, 이것을 (5)式에 대입하여 각 流速別 R_w 의 값을 구한 뒤에 $R - R_w$, 즉 R_f 의 값을 구해 보면, A·F·H·J·K 그물은 R_w 의 값이 R 의 값보다 오히려 크거나 R_f 의 값이 다른 경우에 비해 너무 작은 경우가 생기기 때문에, 이들의 경우는 抵抗 測定値에 오차가 있었거나 R_w 의 산출을 위한 S_n/S_m 의 계산에 오차가 개입되었다고 간주하여 제외시키고, 나머지 경우들에 대해 R_f (kg)와 Bv (m^2/sec)와의 관계를 兩代數 方眼紙에 圖示해 보면 (Fig. 1),

$$R_f = 20 (Bv)^{1.1} \quad (8)$$

이 얻어진다.

결국, 底層 트롤그물의 曳網抵抗 R (kg)은 (5)式과 (8)式을 (1)式에 대입하면

$$R = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} S v^{1.8} + 20 (Bv)^{1.1} \quad (9)$$

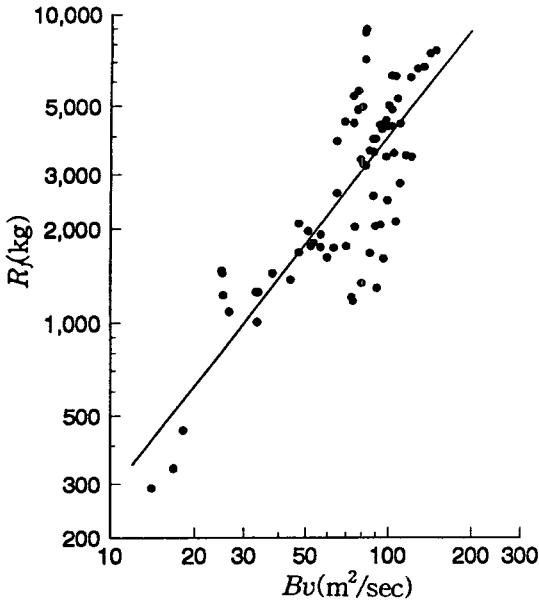


Fig. 1. Relation between R_f and Bv for nets except A, F, H, J and K.

으로 주어지는데, 이것에서 보면 R_f 는 $v^{1.1}$ 에 비례하는 데 비해 R_w 는 $v^{1.8}$ 에 비례하기 때문에, R_f/R_w 의 값은 항상 일정한 것이 아니고 v 가 커짐에 따라 작아진다고 볼 수 있다. 그런데, 底層 트롤그물의 R (kg)에 관한 一般的 慣例은 R_w 의 경우와 마찬가지로

$$R = k S v^2 \tag{10}$$

의 형태로 표시하는 것이 보통이고 또 實用的으로도 (10)식으로 표시하는 것이 훨씬 더 편리하기 때문에, 이를 위해 (9)식을 (10)식의 형태로 바꿔 쓰되 $S \propto B^2$ 인 것을 고려하여 $S/B^2 \equiv b$ 라 두고 抵抗係數 k ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)를 구하면

$$k = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} v^{-0.2} + \frac{20}{b} (Bv)^{-0.9} \tag{11}$$

이 얻어진다. 그러나, 뒷 식은 그 構造가 약간 복잡할 뿐만 아니라 右邊의 두 項에서 v 의 指數 값이 서로 달라 실용적이지 못한 面도 있기 때문에, 近似的인 方法을 취해서라도 더 간단한 형태로 표시할 수 있으면 더욱 좋다고 하겠다.

그런데, (11)식에서 S_n/S_m 과 b 및 B 가 일정한 경우, 즉 각각의 그물에 있어서는 右邊 두 項의 v 의 指數 값이 平均化 되어

$$k = c v^{-n} \tag{12}$$

의 형태로 표시될 것이 확실하기 때문에, Table 1의 각 그물에 대해 (10)식을 이용하여 k ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)를 구하고, 測定値가 하나 뿐인 A 그물을 제외한 모든 그물들에 대해 그것과 v (m/sec)와의 관계를 兩代數 方眼紙에 圖示해 보면 (Fig. 2), 뒷 식의 형태로 표시되는 것이 많으나 그렇지 못한 것도 상당 수 있으며, 특히 (11)식으로 표시할 수 없었던 A·F·H·J·K 그물은 H 그물만을 제외하고 (12)식의 관계마저도 성립하지 않는다. 따라서, (11)식으로 표시할 수 없었던 그물들의 대부분은 抵抗 測定上에 오차가 있었다는 것을 알 수 있는데, 이와 같이 많은 그물에서 (12)식의 관계가 성립하지 않는 것은 Table 1의 그물들이 모두 實物인데다 操業 現場에서 實驗된 것들이어서 抵抗 測定上에 오차가 컸기 때문이라고 여겨진다. 따라서, 오차가 비교적 작았다고 볼 수 있는 그물들, 즉 (12)식으로 표시되는 그물들만에 한하여 比例常數 c 와 指數 n 의 값을 구해 보면 (Table 5), c 와 n 의 값은 각 그물에서 모두 다르게 나타난다. 이 경우 각 그물간 n 값의 차이는 각 그물의 構造와 뜰줄·발줄에서의 浮力·沈降力 및 v 의 증가에 따른 G 와 P 등의 변화가 서로 다르기 때문이라고 볼 수 있지만, 각 그물간 c 값의 차이는 (11)식에서 보았던 바와 같이 S_n/S_m 과 b 및 B 값의 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 그러나, Table 1과 Table 4에 의하면 b 값은 각 그물에서 크게 차이 나지 않고, S_n/S_m 값도 Q 그물에서만 특히 작을 뿐 그 밖의 그물들에서는 全體 平均値 0.402에서 크게 벗어나지 않는 데 비해, B 값은 그물마다 크게 다르기 때문에, 우선 Table 5에 표시된 그물들에 한하여 c ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)와 B (m)와의 관계를 圖示해 보면 (Fig. 3),

$$c = 21 B^{-0.6} \tag{13}$$

이 얻어진다. 이와 같은 결과는 k 를 B 와 v 만의 函數로 표시해도 좋다는 것을 말해준다 하겠는데, Table 5에서 n 값의 平均을 구해 보면 0.57로서 (13)식의 指數 값과 거의 같기 때문에, k 는 Bv 의 函數로 표시해도 좋을 것으로 보여진다. 따라서, 이 관계가 성립하는 것을 보기 위하여 Table 1의 그물 모두에 대해 Bv (m^2/sec)의 값을 구하고 k ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$)와의 관계를 圖示해 보면 (Fig. 4), 대체적으로

$$k = 18 (Bv)^{-0.5} \tag{14}$$

이 성립한다고 보아도 좋을 것 같다.

결국, 底層 트롤그물의 抵抗係數 k 는 具體的으로는 (11)식으로 표시되고 近似的으로는 (14)식으로 표시된다

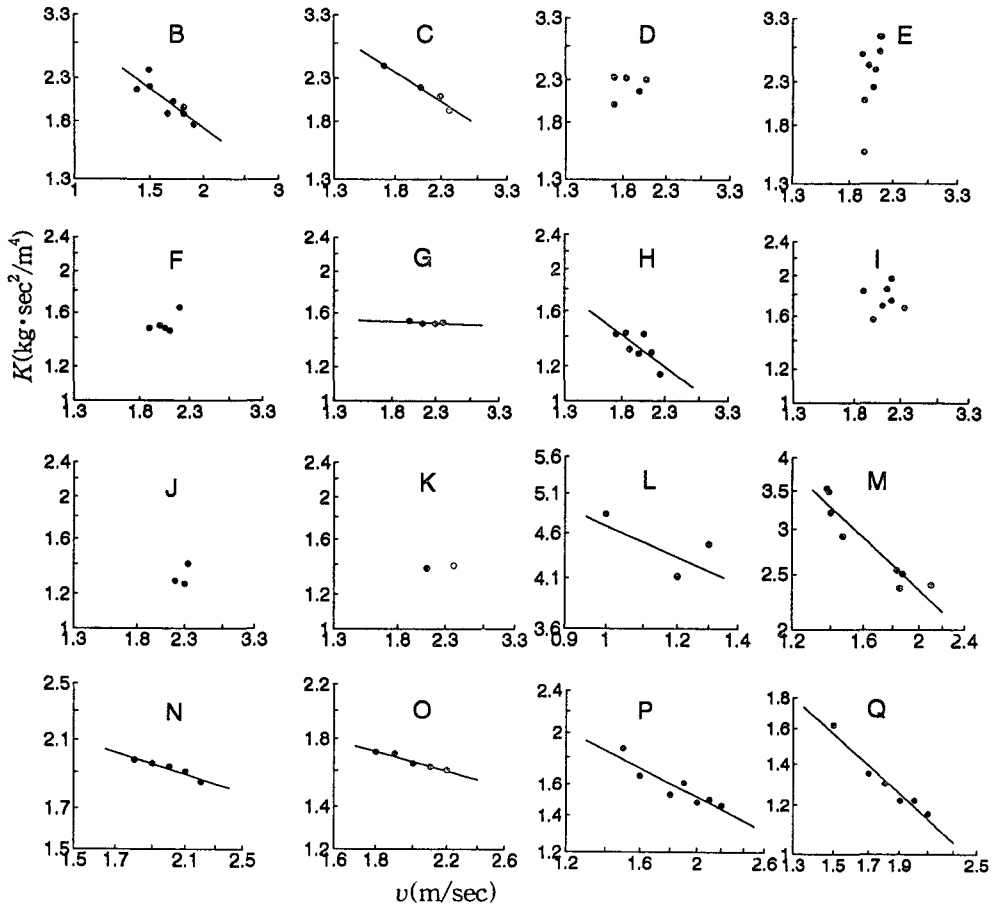


Fig. 2. Relation between k and v for each net from B to Q. Net A was not indicated because its value of k was only one.

Table 5. Values of c and n in equation (12)

| Net | c | n |
|-----|------|------|
| B | 2.96 | 0.76 |
| C | 3.55 | 0.68 |
| G | 1.56 | 0.04 |
| H | 2.11 | 0.68 |
| L | 4.69 | 0.44 |
| M | 4.50 | 0.94 |
| N | 2.39 | 0.32 |
| O | 2.12 | 0.36 |
| P | 2.24 | 0.56 |
| Q | 2.31 | 0.96 |

는 것을 알 수 있는데, 이와 같이 k 가 원래 S_n/S_m 과 Bv 의 函數이던 것이 Bv 만의 函數로 대신할 수 있게 된 것은 上記했던 바와 같이 S_n/S_m 의 값이 각 그물에서 크게 차이나지 않는 것에 주된 원인이 있다고 볼 수 있지만, 底層 트롤그물이 實際 操業 現場에서 사용될 때는 k 에 대한 S_n/S_m 의 영향이 (11)式에 의한 것보다 작아질지 모른다

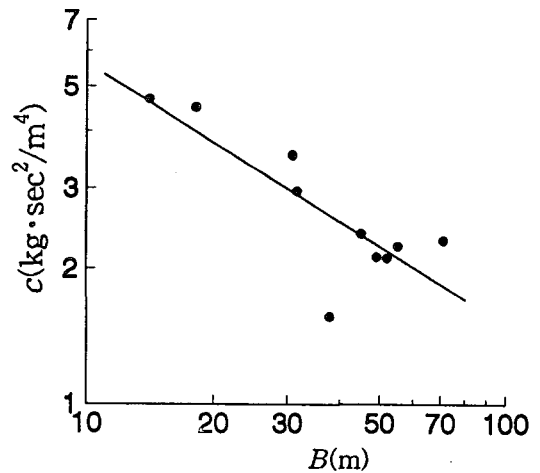


Fig. 3. Relation between c and B for nets listed in Table 5.

는 것도 또다른 원인으로 생각해 볼 수 있다. 즉, (11)

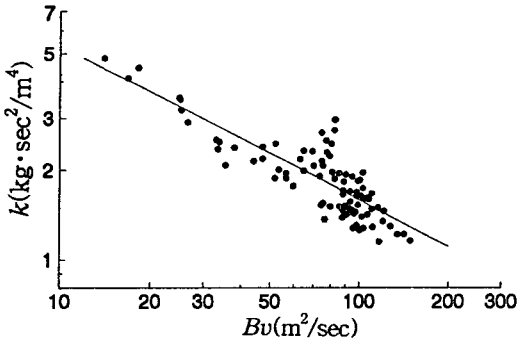


Fig. 4. Relation between k and Bv for all the nets from A to Q.

式 中의 S_n/S_m 영향을 구해낸 前報 (Kim, 1997)에서는 같은 底層 트롤그물이라 할지라도 回流水槽에서 實驗하거나 그물을 海底로부터 浮上시켜 實驗한 結果들을 이용하였기 때문에, 그물의 全部가 비교적 고르게 水力을 받은 경우라고 볼 수 있는 데 비해, 本 研究에서 이용한 그물들은 海底에 접촉된 채로 實驗된 것들이어서 자루그물 밀판이 海底에 거의 밀착될 뿐만 아니라 받줄에서 생기는 後流의 영향을 크게 받아 그것이 받는 水力의 크기가 다른 部位에 비해 작아질 수 밖에 없기 때문에, 자루그물 밀판의 S_n/S_m 이 달라진다 할지라도 그것의 抵抗에는 큰 변화가 없게 되고, 그로 인해 그물 全體의 S_n/S_m 이 달라진다 할지라도 k 값에는 큰 변화가 생기지 않는다고 생각해 볼 수 있다. 그러나, 現 段階로서는 이에 관한 확실한 斷定을 내릴 수 없기 때문에 이 관계는 앞으로의 더 나은 研究에 맡기기로 하고, 여기서는 (11)식이 (14)식으로 近似化 될 수 있다는 것만을 重視하여 (14)식을 (10)식에 대입하되, 그물의 完成 全長을 L (m)이라 하면 $S \propto BL$ 이어서 $S/BL \equiv \alpha$ 라 둘 수 있기 때문에, R (kg)은 近似的으로

$$R = 18 \alpha B^{0.5} L v^{1.5} \tag{15}$$

으로 표시할 수 있다 하겠다. 이 경우 α 의 값은 Table 1 으로부터 계산해 볼 때 그물마다 달라 0.40~0.55의 범위에 이긴 하나 全體 平均值 0.48에서 크게 벗어나지 않았기 때문에, 底層 트롤그물들을 總括해서 볼 때는 $\alpha=0.48$ 을 적용함으로써 R (kg)을

$$R = 9 B^{0.5} L v^{1.5} \tag{16}$$

으로 대신해도 된다 하겠다.

한편, 前報 (Kim, 1997)에서 調查한 底層 트롤그물들을 보면 S_n/S_m 의 平均值는 0.413이어서 本 研究에서 調查한 그물들과 거의 같은 構成 方式을 보이고 있기 때문에, 前報 (Kim, 1997)와 本 研究에서 調查한 그물들은 모두가 設計 方式이 같은 一般 底層 트롤그물이라는 것을 알 수 있고, 아울러 前報 (Kim, 1997)에서 調查한 그물들이 海底 摩擦抵抗을 받았을 때에도 그들의 曳網抵抗은 (9)식이나 (15)식 또는 (16)식으로 표시해도 좋다는 것을 함께 알 수 있다.

要 約

本 研究에서는 流水抵抗과 海底 摩擦力을 동시에 받는 底層 트롤그물의 曳網抵抗을 精度 높게 표현해낼 目的으로, 前報에서 구한 流水抵抗만을 받을 때의 抵抗式에 海底 摩擦力의 影響을 추가하고, 지금까지 행해진 實驗 結果들을 수집하여 분석하였다. 그 결과, 壁 面積이 S (m²) 되는 底層 트롤그물이 曳網速度 v (m/sec)에서 받는 曳網抵抗 R (kg)은 그물 入口의 斷面積을 S_m (m²), 흐름에 수직인 平面에 대한 그물의 總 投影面積을 S_n (m²), 자루그물 앞끝의 完成 둘레를 B (m)라 할 때

$$R = 4.5 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.2} S v^{1.8} + 20 (Bv)^{1.1}$$

으로 주어졌다. 그러나, 實用的으로는 위 式보다 $R=kSv^2$ 의 형태로 표시하는 것이 더욱 편리하다고 볼 수 있기 때문에, 實驗 結果들을 이 式에 적용하여 抵抗係數 k (kg·sec²/m⁴)를 여러 가지 側面에서 검토해 본 결과, k 는 近似的으로 Bv 만의 函數로 표시할 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 그물의 完成 全長을 L (m)이라 할 때 $S \propto BL$ 이어서 $S/BL \equiv \alpha$ 라 둘 수 있기 때문에 R (kg)은 近似的으로

$$R = 18 \alpha B^{0.5} L v^{1.5}$$

으로 표시해도 좋다는 것을 알 수 있었다. 또한, α 의 값은 그물마다 달라 0.40~0.55의 범위에 이긴 하나 全體 平均值 0.48에서 크게 벗어나지 않았기 때문에, 底層 트롤그물들을 總括해서 표시할 때는 $\alpha=0.48$ 을 적용함으로써 R (kg)을

$$R = 9 B^{0.5} L v^{1.5}$$

으로 대신해도 좋다는 것을 알 수 있었다.

文 獻

- Hamuro, O. 1959. Fishing gear measurements, Shin book store, Tokyo, Japan, pp. 208~212 (in Japanese).
- Honda, K. 1958. A model experiment for trawl nets, Bull. Japanese Soc. Sci. Fish. 23 (10), 608~611 (in Japanese).
- Kim, D. A. 1997. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 4. Flow resistance of trawl nets, Bull. Korean Fish. Soc. 30 (4), 691~699 (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).
- Miyazaki, C. 1957. Study on the small trawl net, Mem. Fac. Fish. Mie Univ. 2 (3), 1~220 (in Japanese).
- Nomura, M. 1951. Model experiments on two boat type trawl net, Bull. Japanese Soc. Sci. Fish. 16 (8), 347~349 (in Japanese).

1997년 5월 12일 접수

1997년 8월 30일 수리