

모형 우리 그물의 유수저항

김태호·김대안*·류청로**·김재오·정의철
국립수산진흥원 수산공학과, *여수대학교 수산공학과, **부경대학교 해양공학과

Flow Resistance of Model Cage Net

Tae-Ho KIM, Dae-An KIM*, Cheong-Ro RYU**, Jae-O KIM
and Eui-Cheol JEONG

Fisheries Engineering Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

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

**Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

In order to develop the method for the calculation of flow resistance acting on cage net, the relation between the velocity reduction factor and S_n/S , the ratio of total area of netting projected to the perpendicular to the water flow S_n to wall area of netting S , was derived based on the numerical and experimental analysis of the wake flow through a netting twine simplified by a cylinder and a netting panel. The velocity was reduced in accordance with the velocity reduction factor when the flow passed the netting panel upstream of a cage net. The proposed method for the calculation of fluid force acting on a square cage net was based upon the assumption that it could be divided into four side panels and one bottom panel. It was proved that the force could be calculated by the sum of the drag forces acting on the individual netting panels.

Key words: flow resistance, cage net, wake flow, velocity reduction factor

서 론

양식용 가두리나 낙망, 승망, 통발 등과 같이 고기를 일정 시간 동안 가두어 두는 우리 형태의 그물은 흐름에 평행 또는 수직이거나 임의의 각도를 가지는 여러 장의 평면 그물감으로 구성되는데, 이 그물에 흐름이 작용하면 그 흐름이 각각의 그물감을 통과할 때마다 운동량의 손실이 일어나고, 각 그물감의 후방에는 반류 영역이 형성되어 유속이 그물감을 통과하기 전보다 감소하게 된다 (Osawa et al., 1984; Løland, 1991).

이와 같이 우리형 그물에 있어서는 유속이 그물 외부보다 내부에서 더 작고 흐름 방향의 후방에 있는 그물감이 전방에 있는 그물감보다 유수저항을 작게 받는데, 유속이 커짐에 따라 그물의 형상이 변하여 그물감의 영각, 투영 면적 등이 매우 복잡하게 변화하므로, 평면 그물감의 유수저항을 사용해서 우리형 그물의 유수저항을 정확하게 구하기는 곤란하다 (Itosu et al., 1990; Nakamura, 1991).

따라서 우리형 그물의 유수저항을 구하는 데 있어서는 반류의 영향과 그물의 형상 변화에 따른 그물감의 영각, 투영 면적 등을 정확하게 구할 수 있어야 하기 때문에 (Carson, 1990; Løland, 1991), 본 연구에서는 수치해석과 수리 모형실험 (Kim, 2000) 결과를 토대로 하여 우리형 그물을 통과한 흐름의 속도 감소비에 대하여 검토하고, 실제 측정된 그물 내부의 유속 값을 이용하여 그물의 투영 면적과 유속 감소와의 관계를 조사하였다. 또한 그물의 변형을 고려하지 않는 경우와 실제로 변형되는 경우 우리형 그물의 중심에 작용하는 유수저항에 대한 계산 값의 정도를 평

가하기 위하여, 회류 수조에서 수리 모형실험을 행하고 측정된 저항을 실물 그물로 환산하여 그 값이 근사적으로 계산한 값과 어떻게 달라지는가를 비교·고찰하였다.

재료 및 방법

1. 수리 모형실험

1) 재 료

본 연구에서 조사 대상으로 한 실물 그물은 각 변의 길이가 10 m인 정육면체 그물로서 구성 그물감은 그물실의 지름 d 가 1.36 mm, 그물코의 크기 $2l$ 이 55.5 mm되는 나일론 막매듭 그물감 Td 210×48, 그물실의 지름 d 가 1.56 mm, 그물코의 크기 $2l$ 이 50.3 mm되는 나일론 막매듭 그물감 Td 210×60 및 그물실의 지름 d 가 1.92 mm, 그물코의 크기 $2l$ 이 55.5 mm되는 나일론 막매듭 그물감 Td 210×90의 3종류로서, 그물감의 투영면적 S_n 에 대한 그물감의 점유면적 S 의 비 S_n/S 를 각각 달리하였다.

모형 그물은 Tauti (1934)의 모형 수칙에 따라 축척비 1/20으로 제작하여 실시하였는데, 제작에 사용된 그물감의 재료 및 규격은 Table 1과 같다. 또한 완성된 그물의 크기는 Fig. 1과 같이 한 변의 길이가 0.5 m이며, 모형 그물의 가로 및 세로 성형률은 실물 그물에서와 같이 각각 70%로 하였다. 단, 실물 그물은 나일론 랫셀 그물감이나, 본 연구에서는 모형 그물을 나일론 막매듭 그물감으로 제작하되 그물실의 지름과 발의 길이의 비인 d/l 의 값과 그물코의 전개각 2ϕ 를 실물 그물과 같게 하였다. 모형 그물 (첨자 p 로 표시)과 실물 그물 (첨자 m 으로 표시)간의 그물실의 지름의 비

본 논문은 해양수산부에서 시행한 1993~1996년 수산특정연구개발사업 지원에 의한 연구 결과의 일부임.

Table 1. Netting materials of model nets used in the experiment

| Net | Materials | d (mm) | $2l$ (mm) | d/l | 2ϕ (deg.) | S_n^* (cm ²) | S_n/S^{**} |
|-----|-----------------------|----------|-----------|-------|----------------|----------------------------|--------------|
| A | Nylon Td 210 3 ply | 0.34 | 13.80 | 0.049 | 90 | 244.60 | 0.099 |
| B | Nylon Td 210 4 ply | 0.39 | 12.60 | 0.062 | 90 | 309.58 | 0.124 |
| C | Nylon Td 210 6 ply | 0.48 | 13.80 | 0.070 | 90 | 347.94 | 0.139 |

$$* S_n = \frac{d}{l} \cdot \frac{S}{\sin\phi \cos\phi}, \quad ** \frac{S_n}{S} = \frac{d}{l \sin\phi \cos\phi}$$

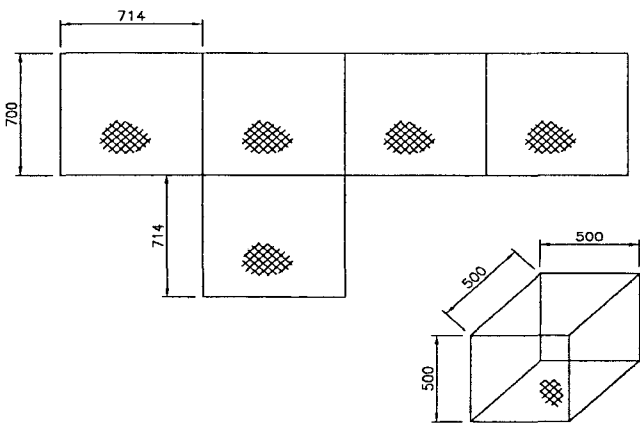


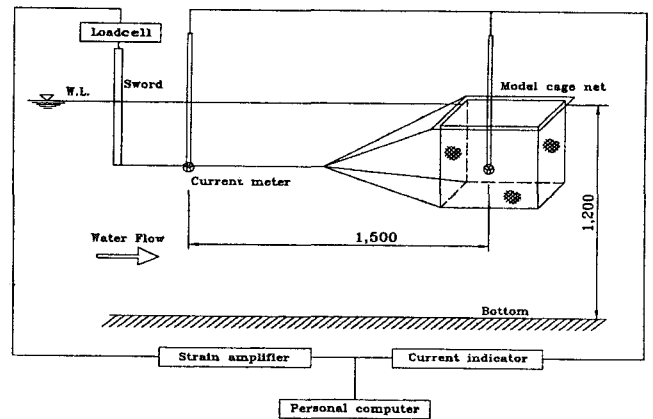
Fig. 1. Developed drawing of model net (unit: mm).

$\frac{d_m}{d_p}$ 과 밧의 길이의 비 $\frac{l_m}{l_p}$ 은 0.25로 하고, 유속의 비 $\frac{U_m}{U_p}$ 은 0.5, 힘의 비 $\frac{F_m}{F_p}$ 은 6.25×10^{-4} 로 하였다.

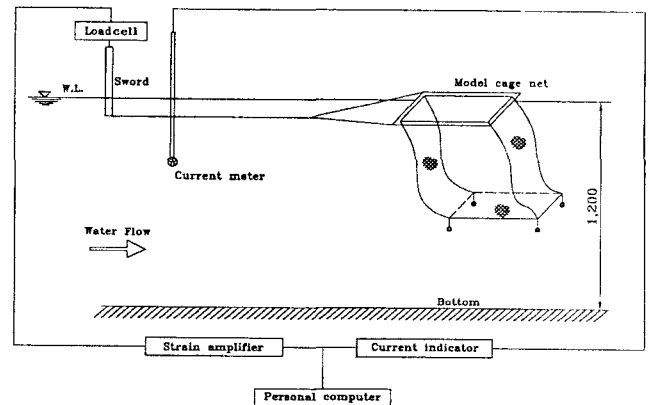
한편, 힘줄은 실물의 경우 지름이 14 mm인 나일론 밧줄로 되어 있으나, 모형에서는 그물의 형상 유지를 위하여 지름이 약 1 mm인 스테인리스 와이어를 사용하였다.

2) 실험 방법

실험은 삼성중공업(주)에 설치되어 있는 수직 순환형 회류 수조 (L 6.0 m × B 2.0 × D 1.2 m)에서 행하였으며, 실험 장치 및 계측 시스템의 구성은 Fig. 2와 같다. 이것에서 (a)는 흐름에 의하여 그물에 변형이 없다고 가정한 경우 그것의 중심에 작용하는 유수저항을 계측하기 위한 것으로서, 그물의 변형을 방지하기 위하여 지름이 5 mm인 스테인리스 파이프를 제작한 정육면체 틀에 모형 그물의 힘줄 부분을 부착한 후, 이를 내면의 크기가 가로 0.5 m, 세로 0.5 m인 플라스틱으로 제작된 정사각형의 프레임 (파이프의 지름: 20 mm)에 부착하고, 그것을 흐름에 대한 영각 α 가 90°로 유지되도록 수면에 설치하였다. 이 경우 흐름을 직접적으로 받는 부분인 부력재 틀과 그물 틀의 각 2지점에 길이가 0.5 m이고 지름이 1 mm인 스테인리스 와이어를 1가닥씩 모두 4가닥을 연결하고 그들을 가운데로 모아 결착한 후 그것을 지지봉을 통해 로드셀에 고정하였으며, 전면 그물감을 통과한 그물 내부의 유속을 측정하기 위하여 모형 그물 내에 소형 프로펠러식 유속계를 설치



(a) Undeformed net by rigid frame



(b) Deformed net by flexible frame

Fig. 2. Model experiment setup for measuring drag force of cage nets (unit: mm).

하였다.

Fig. 2의 (b)는 흐름에 의해 그물의 변형이 있는 경우 그물의 유수저항을 측정하기 위한 것으로서, 각 모형 그물 하부의 모서리 부분에 납으로 된 침자를 1개씩 총 4개 부착하고 그것을 (a)에서와 같은 방법으로 수면에 설치하였다. 이 경우 침자의 공기중 무게는 모형 그물의 공기중 무게와 같은 75.5, 196.9 및 243.9 g이었다. 유속은 0.1~0.5 m/s의 범위에서 약 0.1 m/s의 간격으로 변화시켜 그물과 프레임 및 침자를 포함한 전체 유수저항을 측정하고 다시 그물을 제외한 프레임 또는 프레임과 침자만의 유수저항을 측정하여, 전체 저항에서 이들의 저항을 제외한 값을 모형 그물의 유수저항으로 채택하였다. 이 경우 유속은 프로펠러식 유속계 (Kenek, VO-203A)로 측정하고 저항은 로드셀 (용량: 5 kg, JHM)로 측정하였으며, 유속과 저항의 측정치는 매 유속마다 1분 동안 각각 3,000개씩의 측정치를 증폭기 (Procom, DCA-DS 300)를 통해 컴퓨터에 입력하여 그 평균치를 사용하였다. 실험시 수조내의 수온은 26~27°C의 범위였다.

결과 및 고찰

1. 그물감을 통과한 흐름의 속도 변화

Fig. 3은 실험을 통해 그물감을 통과하기 전의 유속과 1장의 그물감을 통과한 그물 내부 중앙의 유속을 측정하여 비교한 것으로서, 이것에서 보면 그물감을 통과한 유속은 통과하기 전의 유속에 비하여 다소 작게 나타나고 있는데, 그 정도는 주로 그물감의 S_n/S 값에 따라 달라지는 것을 볼 수 있다.

그물감의 저항계수 C_D 및 그물감을 통과기 전의 유속 U 와 통과한 후의 유속 u 와의 관계에 대해서는 그물실을 원형 실린더로 단순화 한 후 그것을 통과한 후류에 대한 수치해석 (Kim, 2000)과 본 연구의 수리 실험 결과로부터

$$\frac{u}{U} = 1 - 0.5 C_D \quad (1)$$

가 얻어지므로, 이것에서 C_D 대신에 그물감의 S_n/S 를 대입하여 그물 내부의 유속 감소비를 구하였다. 먼저 나일론 랫셀 그물감의 경우에는 Kim (2000)이 제안한 실험식인 $C_D = 3.08 \left(\frac{S_n}{S}\right)^{1.47}$ 을 대입하면 그물감을 통과한 흐름의 속도 감소비는

$$\frac{u}{U} = 1 - 1.54 \left(\frac{S_n}{S}\right)^{1.47} \quad (2)$$

으로 주어지고, 나일론 막매듭 그물감의 경우에는 Osawa et al. (1993)의 실험식인 $C_D = 1.93 \left(\frac{S_n}{S}\right)^{1.24}$ 을 대입하여

$$\frac{u}{U} = 1 - 0.97 \left(\frac{S_n}{S}\right)^{1.24} \quad (3)$$

으로 주어진다.

Fig. 4는 나일론 랫셀 그물감의 S_n/S 값의 변화에 따른 C_D 와 속도 감소비 u/U 와의 관계를 나타낸 것이다.

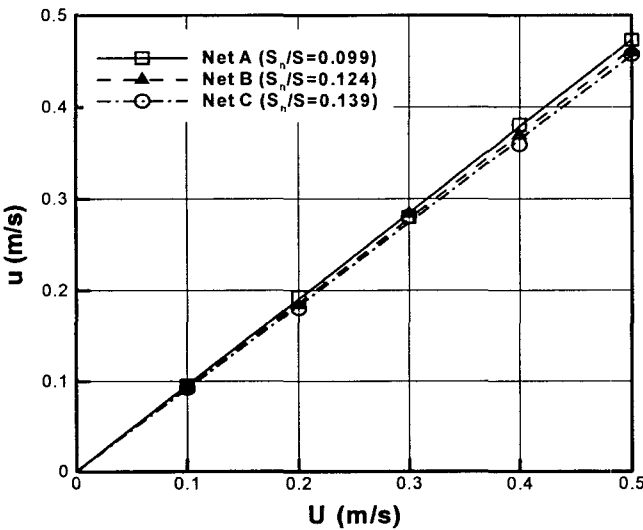


Fig. 3. Comparison between free velocity U and wake velocity u through a netting panel.

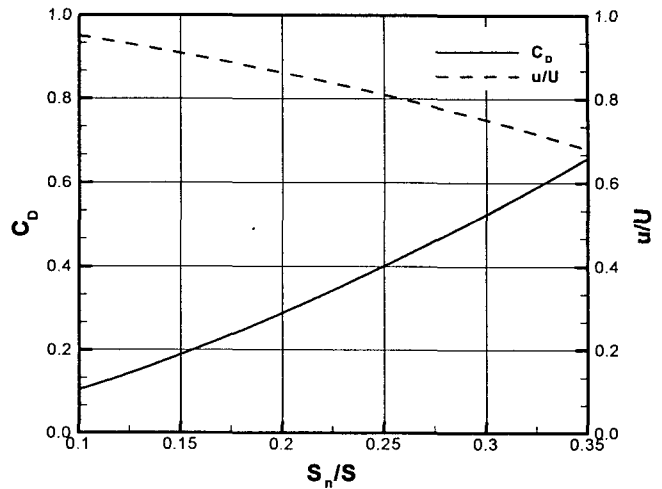


Fig. 4. C_D and u/U by S_n/S of netting panel.

(2)식과 (3)식을 이용하면 상자형 구조의 그물에 작용하는 유수저항의 계산에 필요한 그물감을 통과한 흐름의 속도를 간단하게 구할 수 있다.

그물이 흐름에 놓여 있을 때 그 흐름은 두 가지 방법으로 변경된다. 즉, 그물에 대하여 압력 강하가 발생하고, 흐름이 부분적으로는 그물을 통과하고 부분적으로는 그물 주위에 있게 되는데, 그물감을 통과하기 전의 유속 U_∞ 와 그물감을 통과한 후의 유속 u 는 그물감의 S_n/S 값 또는 저항계수에 따라 달라진다.

일반적으로 그물감의 저항계수는 속도의 제곱에 비례하므로 입사된 흐름의 속도를 아는 것이 매우 중요한데, 단지 1장의 그물감이 설치되어 있다면 별다른 문제는 생기지 않지만, 우리형 그물과 같이 2장 이상의 그물감이 서로 연속해서 설치되어 있으면 문제가 복잡해진다.

그물감 뒤의 후류의 속도는 흐름의 주된 방향에 수직으로 설치된 횡단면에서는 거의 일정한데, 그것은 또한 후류의 길이 방향에서는 천천히 바뀌게 되므로, 속도 감소비 r 은 1개의 그물감을 통과한 후류의 속도 u 와 그물감을 통과하기 전의 유속 U_∞ 와의 비로써 다음과 같이 나타난다.

$$r = \frac{u}{U_\infty} \quad (4)$$

그러나 그것은 단지 그물감에 의해서 영향을 받는 후류의 흐름만은 아니다. 즉, 그물감 앞의 흐름은 유선의 변형에 의하여 영향을 받지만 이러한 영향은 급속히 사라지고, 그물감 상류 쪽의 적어도 한 개에 있어서는 무시할 수 있으며, 상류의 영향을 무시할 만큼 서로 사이가 긴 거리를 가지고서 연속적으로 놓여 있는 일련의 우리형 그물에서 그물 뒤의 후류의 속도는 다음 식과 같이 감소된다.

$$U_i = U_\infty \cdot r^i \quad (5)$$

여기서, U_i 는 i 번째 그물감 뒤의 후류의 속도를 나타내고 r 은 속도 감소비를 나타낸다. 예를 들면, 첫 번째 그물감의 후류 속에 놓여 있는 두 번째 그물감의 경우 첫 번째 그물감의 후류의 속도와

같은 속도에 노출되어 있으므로

$$U_1 = U_\infty \cdot r \tag{6}$$

이고, 두 번째 그물감의 후류 속에 놓여있는 세 번째 그물감은 두 번째 그물감의 후류의 속도와 같은 속도에 노출되어 있기 때문에

$$U_2 = U_1 \cdot r = U_\infty r^2 \tag{7}$$

이다.

(6)식 및 (7)식을 적용하여 그물의 S_m/S 값이 0.139인 상자 구조의 우리형 그물 세 개가 연속해서 유속이 1 m/s인 흐름에 설치되어 있는 경우에 대해 그물 내부의 유속 변화를 구해 보면, 1장의 그물감을 통과한 첫 번째 그물 내부의 유속은 0.92 m/s이며, 3장의 그물감을 통과한 두 번째의 경우에는 0.78 m/s이고 마지막으로 5장의 그물감을 통과한 세 번째 그물의 내부 유속은 0.66 m/s로서, 그물감을 통과하기 전의 초기 유속에 비해 44%만큼 감소된 것을 알 수 있다. 이와 같은 계산 값의 정도를 확인하기 위해서는 앞으로 실험을 통한 검증이 요구된다.

한편, 그물과 흐름의 방향 사이의 각도는 후류의 폭 내의 속도 분포에 작은 영향을 미치는데, 이와 같은 영향은 유수저항 모델로부터 무시할 수 있으나, 속도 감소는 그물에 어떠한 변형이 일어나기 전 그물감의 초기 위치에 관련된다.

3. 상자 구조의 우리형 그물에 작용하는 유수저항

1) 그물의 변형을 고려하지 않는 경우

Fig. 5는 수리 모형실험에 의한 우리형 그물의 중심에 작용하는 유수저항의 값을 실험 그물로 환산한 것으로서, 그물감의 S_m/S 값 순으로 크게 나타났으며, 유속의 제곱에 비례하여 증가하였다.

그물의 크기와 그것을 구성하는 평면 그물감의 저항계수를 알고 있으면, 각종 우리형 그물에서 조류에 의한 그물의 변형이 무시되는 경우에는 그것의 중심에 작용하는 유수저항의 값을 근사적으로 쉽게 계산할 수 있는데, 이와 같은 근사적 방법이 실제로 적용될

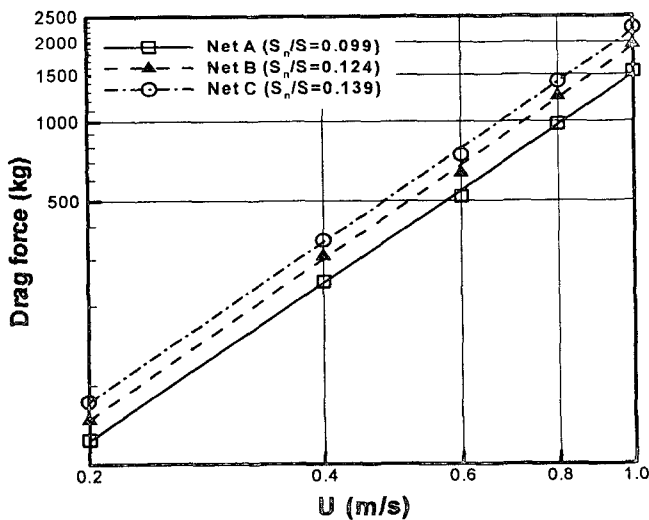


Fig. 5. Relation between drag forces and water velocity in case of undeformed nets.

수 있는 가를 검증하기 위해서는 실측치와 비교해 보는 것이 가장 좋다.

그런데 상자 구조의 우리형 그물은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 4장의 옆판과 1장의 밑판으로 구성되고, 이들 각각의 그물감은 흐름 방향에 따라 그것에 평행하거나 수직을 이루기도 하고 임의 각도를 이루기도 하기 때문에, 이 그물에 작용하는 전체적인 유수저항을 계산하기 위해서는 우선 각각의 그물감에 작용하는 유수저항을 구하여 그들을 합산해 보는 것이 좋다. 그러나 앞에서 측정된 것처럼 실제 그물에는 한쪽 방향으로 흐름이 작용하면 그 후방에는 반류 영역이 형성되어 그물내의 유속이 초기 유속보다 감소하여 하류 쪽 그물감의 유수저항은 상류 쪽보다 작게 되므로, 후방에 있는 그물감의 경우에는 그물감을 통과한 흐름의 속도 감소를 고려하여 유수저항을 계산해야 한다.

따라서 본 연구에서는 저항 R 은 저항계수를 k ($\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$), 그물감의 기준 면적을 S , 유속을 U 라 할 때

$$R = kSU^2 \tag{8}$$

으로 하고 Fig. 6의 그물에 작용하는 유수저항을 계산하였는데, 저항계수 k 는 흐름에 대한 영각 α 가 90°인 전방 그물감과 후방 그물감 및 α 가 0°인 양 옆판 그물감과 밑판 그물감에 대해서 각각 Kim (1995)이 제안한

$$k_{90} = 100 \left(\frac{S_m}{S} \right)^{1.2} \left(\frac{S_m}{S} \right) \tag{9}$$

과

$$k_0 = 9 \left(\frac{d}{t \cos \phi} \right)^{0.8} \tag{10}$$

을 사용하였다.

Fig. 7은 Kim (1995)이 제안한 그물감의 유수저항 계산식에 의해 Fig. 6의 그물을 구성하는 4장의 옆판과 1장의 밑판 그물감에 작용하는 각각의 유수저항을 구하여 합산한 값과 본 연구에서 측정한 그물 전체의 저항을 실험으로 환산한 것과의 비교한 것이다. 이것에 의하면 유수저항의 계산치와 실험치는 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편 상자 구조의 우리형 그물에 작용하는 전체의 유수저항 중 각각의 그물감에 작용하는 저항의 비율을 살펴보면, 전방 그물감과 후방 그물감의 경우 각각 41.4%와 37.3%로서 전체의 약 79%를 차지하고, 옆판과 밑판 그물감에서는 상대적으로 작아 14.2%와 7.1%에 불과하다.

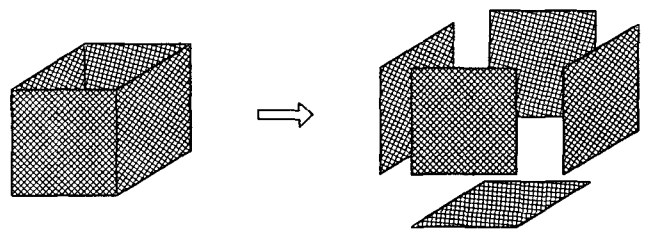


Fig. 6. A square net composed of 5 netting panels.

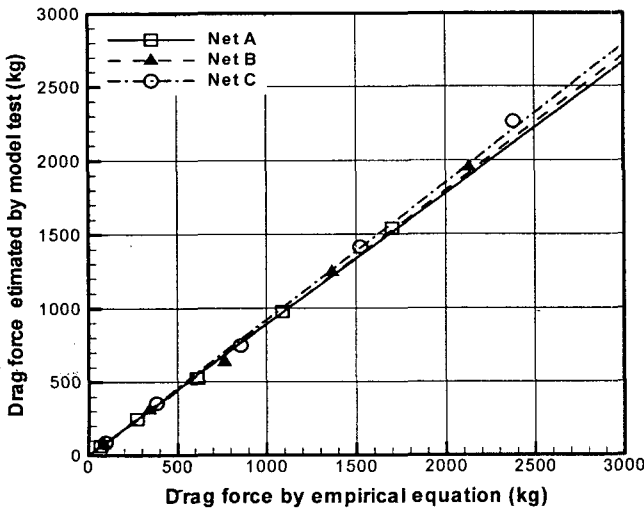


Fig. 7. Comparison between measured drag force and calculated one.

2) 그물의 변형을 고려한 경우

지금까지는 흐름에 의하여 그물감이 변형되지 않는 경우에 대해 상자 구조의 우리형 그물에 작용하는 유수저항의 값을 근사적으로 계산하기 위하여 그것의 측정치와 계산치를 비교하였으나, 실제 어장에서 사용 중에 있는 우리형 그물은 계속적으로 흐름의 작용을 받아 변형되고 그로 인해 그물감의 투영면적이 감소하기 때문에, 그물감이 변형되지 않는 경우에 비해 유수저항이 작아지게 된다.

Fig. 8은 흐름에 의해 그물의 변형되는 경우에 있어서 유속의 변화에 따른 상자 구조의 우리형 그물에 작용하는 유수저항의 측정치를 나타낸 것이다. 이것에 의하면 그물에 작용하는 유수저항 R 과 유속 U 와의 관계는 $R=kU^n$ 으로 표시되는데, 여기서 지수 n 의 값은 본 실험의 경우 1.76~1.83으로 나타났다.

Fig. 8은 우리형 그물의 변형 유무에 따른 유수저항의 변화를 나타낸 것으로서, 실선은 변형이 없는 경우, 점선은 변형이 있는 경우의 유수저항을 나타낸다. 이것에서 유속이 증가함에 따라 그물의 변형으로 인해 유수저항이 감소하기 시작하여 유속이 1 m/s에 이르면 A, B 및 C 그물의 유수저항은 그물의 변형이 없는 경우의 그것에 비하여 각각 63%, 71.2%, 73.2%로 작게 나타났다. 이와 같은 그물의 변형으로 인한 유수저항의 감소는 그물의 S_n/S 값, 침자의 무게, 그물감을 통과하기 전의 유속 등에 따라 다르게 나타나게 된다.

요 약

우리형 그물에 작용하는 유수저항을 그 도면으로부터 정확하게 계산하기 위하여 그물실을 원형 실린더로 단순화하여 실린더를 통과한 흐름의 속도 감소에 대한 수치 해석 결과와 상자 구조의 모형 우리 그물에 대한 수치 모형실험을 행하여 저항계수 및 그물감을 통과기 전과 후의 속도 감소비에 대한 관계를 검토하였으며, 속도 감소비를 고려하여 흐름에 의한 그물의 변형 유무에 따른

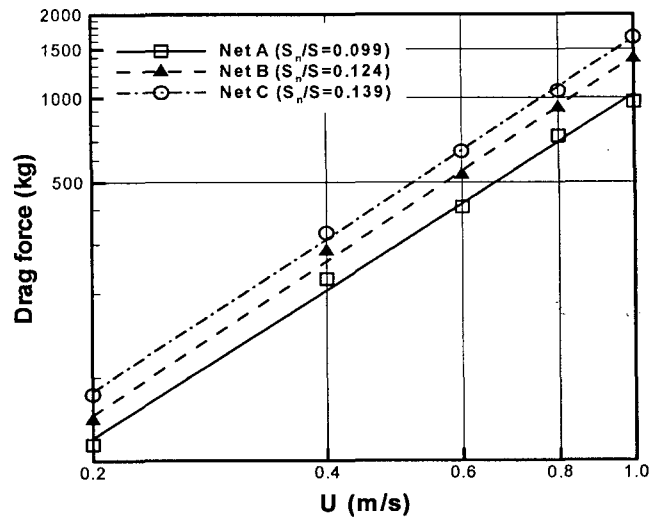


Fig. 8. Relation between drag forces and flow velocity in case of deformed nets.

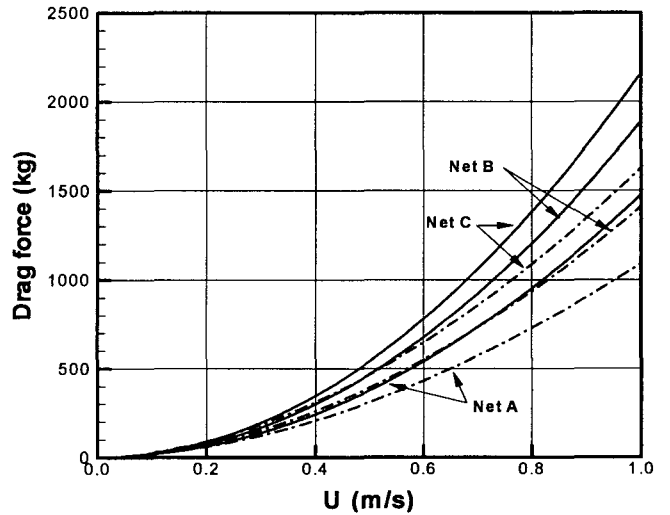


Fig. 9. Relation between drag forces and flow velocity in case of deformed and undeformed nets.

모형 우리 그물에 작용하는 유수저항을 측정하였다. 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 그물감을 통과하기 전의 유속 U 와 통과한 후의 유속 u 의 비인 속도 감소비와 그물감의 S_n/S 값과의 관계는 다음과 같이 나타났다.

$$\text{나일론 랫셀 그물감의 경우: } \frac{u}{U} = 1 - 1.54 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.47}$$

$$\text{나일론 막매듭 그물감의 경우: } \frac{u}{U} = 1 - 0.97 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.24}$$

2. 변형을 고려하지 않는 그물의 경우는 후류의 영향을 고려하여 각각의 그물감에 작용하는 유수저항을 독립적으로 계산하고 그들을 합산하여 전체 저항으로 채택해도 된다는 것을 확인하였다.

3. 흐름에 의한 변형이 있는 그물의 경우는 유수저항 R 이 유속 U 의 제곱에 비례하지 않고 $R=kU^{1.76-1.83}$ 으로 나타났다.

4. 유속이 1 m/s인 때의 A, B 및 C 그물의 유수저항은 그들에 생긴 변형으로 인해 변형이 없는 경우의 저항에 비해 각각 63%, 71.2% 및 73.2%로 나타났다.

참 고 문 헌

Aarsnes, J.V., H. Rudi and G. Løland, 1990. Current forces on cage, net deflection. In *Engineering for Offshore Fish Farming*. Thomas Telford, London, pp. 137~152.

Carson, R.M. 1990. Engineering analysis and design of cage systems for exposed locations. IChemE Symposium Series, No. 111, 77~96.

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. Kor. Fish. Soc.*, 28, 194~201 (in Korean).

Kim, D.A. 1999. *Fishing Gear Design*. Pyoung Hwa Publications, 72~88 pp (in Korean).

Kim, T.H. 2000. Hydrodynamic characteristics of frame structures for fishery, Ph. D. Thesis. Department of Ocean Engineering. Pukyong Nat'l Univ., pp. 27~66 (in Korean).

Løland, G. 1991. Current forces on and flow through fish farms, Ph. D. Thesis. Division of Marine Hydrodynamics. The Norwegian Ins. of Technol., pp. 126~129.

Nagamatsu, K., H. Nishinokubi and K. Nakasai. 1986. The mechanical characteristics of a netting store pot. *Bull. of the Faculty of the Fish., Nagasaki Univ.*, 59, 1~10 (in Japanese).

Nakamura, M. 1991. *Fisheries Civil Engineering*. 2nd ed. Tokyo, 493~494 pp (in Japanese).

Osawa, Y. 1983. Studies on resistance of plane net against flow of water II - On result of experiment on drag coefficients and lift coefficients of trawler knot nets, knotless nets and Raschel nets -. *Bull. of Nat'l Res. Ins. of Fish. Eng.*, 4, 183~196 (in Japanese).

Osawa, Y., Y. Tawara and H. Taketomi. 1984. Studies on behaviour of fish cage against flow of water I - On drag of fish cages -. *Bull. of Nat'l Res. Ins. of Fish. Eng.*, 2, 1~12 (in Japanese).

Tauti, M. 1934. A relation between experiments on model and full Scale of net. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 3, 171~177 (in Japanese).

2000년 9월 18일 접수

2000년 11월 13일 수리