

우리 그물용 평면 그물감의 유수저항

김태호⁺ · 김대안* · 류청로**

국립수산진흥원 수산공학과, *여수대학교 수산공학과, **부경대학교 해양공학과

Flow Resistance of Plane Nettings for Net Cages

Tae-Ho KIM, Dae-An KIM* and Cheong-Ro RYU**

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 make clear the resistance of plane nettings used widely in constructing net cages, the resistance R taken by $R=kSU^2$, where S was the wall area of nettings, U the flow velocity, and k the resistance coefficient, was measured in a circulating water channel by using nylon Raschel nettings and PE trawler-knotted nettings coated with anti-fouling paint or not and then the properties of coefficient k were investigated. The mesh size L and the angle ϕ between two adjacent bars was given by the function of Reynolds number $\lambda U/\nu$ in the region of $\lambda U/\nu < 180$, i.e.,

$$k = 350 \left(\frac{\lambda U}{\nu} \right)^{-0.25}$$

where λ was the representative size of nettings expressed as

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

On the other hand, the coefficient k was almost fixed between 92 and 102 ($\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$) in the region of $\lambda U/\nu \geq 180$ and varied according to the ratio S_n/S of the total area S_n of nettings projected to the plane perpendicular to the water flow to the wall area S of nettings, i.e., it was given by

$$k = 98.6 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.19}$$

regardless of the coating of paint.

Key words: Net cages, Plane nettings, Resistance coefficient, Reynolds number

서 론

프레임에 그물감을 부착하여 구성되는 우리 형태의 구조물 중 부유식의 것은 수면에 떠 있는 프레임과 그 하부에 있는 그물이 조류와 파랑에 의한 유수저항을 동시에 받고, 수중 침하식의 것은 그 전체가 조류에 의한 유수저항을 받기 때문에, 이들 구조물의 안전성은 그들이 받는 유수저항의 크기에 따라 크게 달라진다.

그런데 이들 구조물을 구성하는 재료 중에서 가장 강도가 약한 것은 그물감이고 유수저항을 가장 크게 받는 것도 그물감이며, 그로 인해 구조물을 사용하는 도중에 발생하는 파단 또는 유실 사고는 주로 그물감에서 발생하기 때문에, 이러한 사고를 방지하기 위해서는 우선 그물감에 작용하는 유수저항을 상세하게 파악할 수 있어야 한다.

그러나 그물감은 그물코라고 하는 다수의 구멍이 뚫려 있어 구조가 복잡할 뿐만 아니라 매우 유연하여 외력의 작용에 대해 수시로 변형되는 특성을 지니고 있기 때문에, 그것의 유수저항을 측정하거나 측정 결과를 해석하는 데에는 여러 가지 어려움이 따

른다 (Kim, 1999). 이와 같은 측정상의 어려움에도 불구하고 지금까지 그물감의 유수저항에 관해서는 비교적 많은 연구 (Miyake, 1927; Miyazaki and Takahashi, 1964; Milne, 1970; Osawa et al., 1983; Osawa, 1985; Imai, 1986; Imai and Nakamura, 1989; Lφland, 1991; Kumazawa et al., 1993; Kim, 1995)가 행해져 왔는데, 그 대부분은 어로 목적의 그물 어구에 관한 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리형 구조물에 주로 사용되는 그물감들을 선정하고 수조 실험을 통해 그들의 저항 특성을 조사하였으며, 우리형 그물에서 크게 문제가 되고 있는 부착 생물의 영향 및 방오 도료의 도장 여부에 따른 저항의 변화도 함께 조사하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 연구에서는 우리 그물에 주로 사용되고 있는 나일론 랫셀 그물감과 PE 막매듭 그물감을 대상으로 그 저항 특성을 조사하였는데, 실제 어장에서는 해조류, 패류 등의 생물이 부착하는 것을 방지하기 위하여 표면에 방오 도료가 도장되어 있는 그물감을 사용하고 있기 때문에 본 연구에서는 같은 규격의 나일론 랫셀 그물감에 대해 측정 시료를 2개씩 준비하고 그 중 하나씩에 대해서

⁺ Corresponding author: thkim@nfrdi.re.kr

는 방오 도료를 도장하였다.

Table 1은 본 연구에서 사용한 그물감의 규격을 나타내는데, 이것에서 그물감의 투영 면적 S_n 은 그물실의 지름을 d , 말의 길이를 L , 그물코의 전개각을 2ϕ , 그물감의 벽 면적을 S 라 할 때

Table 1. Specifications of nettings used in the experiment

Netting panel	Materials	d (mm)	$2L$ (mm)	d/L	S_n (m ²)	S_n/S	Remarks
A	Nylon Raschel Td 210×45	1.67	33.76	0.099	0.049	0.198	
A-1	〃	1.69	33.71	0.100	0.050	0.201	Painted
B	Nylon Raschel Td 210×12	0.93	13.14	0.142	0.071	0.283	
B-1	〃	0.95	13.11	0.145	0.072	0.290	Painted
C	PE knotted Td 380×60	2.49	60.80	0.082	0.041	0.164	
D	〃	2.49	45.00	0.111	0.056	0.222	

$$S_n = \frac{d}{L} \cdot \frac{S}{\sin\phi\cos\phi} \quad (1)$$

로 주어지고 (Kim, 1999), 이것으로부터

$$\frac{S_n}{S} = \frac{d}{L \sin\phi\cos\phi} \quad (2)$$

가 얻어지므로, 각각의 그물감에 대해 d 와 L , 2ϕ 및 S 를 측정하고 이들 식에 의해 그물감의 투영 면적에 대한 점유 면적의 비 S_n/S 를 구하였으며, 이 경우 그물코의 전개각 2ϕ 는 모두 90° 가 되도록 하였다.

2. 실험 방법

실험은 삼성중공업(주)에 설치되어 있는 수직 순환형 회류 수조 (관측부 길이: 6.0 m, 수로 폭: 2.0 m, 수심: 1.2 m)에서 행하였는데, 실험 장치 및 계측 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다.

실험을 할 때는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Table 1의 그물감들을 지름 10 mm의 스테인리스 봉으로 제작된 50×50 cm 크기의 정사각형 틀에 각각 부착하고, 그 틀을 지름 20 mm, 길이 50 cm의 스테인리스 봉에 부착한 후 로드셀의 하단에 고정하였으며, 이 경우 흐름에 대한 그물감의 영각 α 는 90° 가 되도록 하였다. 실험 유속은 0.2~1.0 m/s의 범위에서 약 0.2 m/s 간격으로 변화시키고, 각각의 유속에서 틀과 그물감을 포함한 전체 유수저항 및 그물감을 제외한 틀만의 유수저항을 측정한 후, 전체 유수저항에서 틀만의 유수저항을 공제한 값을 그물감의 유수저항으로 채택하였다. 이 경우 유속은 프로펠러식 유속계 (Kenek, VO-203A)로 측정하고 유수저항은 로드셀 (JHM, 용량: 10 kg)로 측정하되, 유속과 유수저항의 측정치는 매 유속마다 1분 동안 각각 3,000개씩의 측정치를 증폭기 (Procom, DCA-DS 300)를 통해 컴퓨터에 입력해서 그 평균치를 사용하였으며, 실험시의 수조 내 수온은 26.7~27°C의 범위였다.

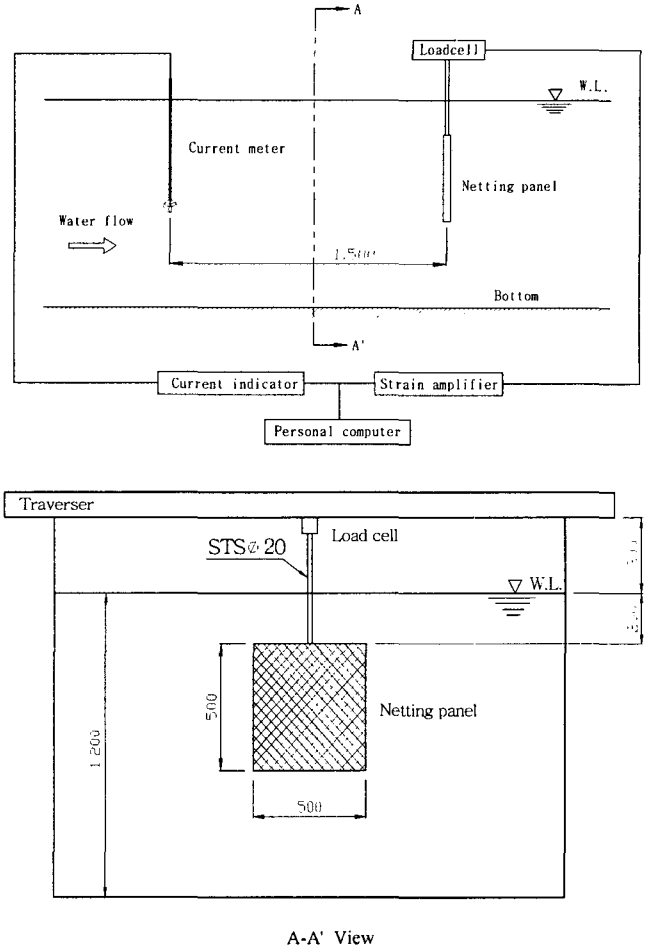


Fig. 1. Experimental setup for measuring the resistance of netting panels (Unit: mm).

결과 및 고찰

Table 1의 평면 그물감에 대해 유속의 변화에 따른 유수저항의 변화를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 이것에서 보면 유수저항은 방오 도료를 도장하지 않은 그물감보다 도장한 그물감에서 약간 더 큰 경향이나 그 차이는 그다지 크지 않으며, 유속이 1 m/s인 때의 유수저항을 비교해 보더라도 방오 도료를 도장하지 않은 A-1 그물감과 B-1 그물감에서는 각각 3.4 kg 및 5.5 kg인 데 비해 방오 도료를 도장한 A-2 그물감과 B-2 그물감에서는 각각 3.6 kg 및 5.6 kg이다. 따라서 방오 도료의 도장에 따른 저항의 증대는 무시해도 좋다는 것을 알 수 있다.

그런데 그물감의 저항 특성을 해석하는 데 있어서는 저항계수를 사용하는 것이 편리하고, 그 저항 R 은 저항계수를 k , 그물감의 벽 면적을 S , 유속을 U 라 할 때

$$R = kSU^2 \quad (3)$$

으로 표시되기 때문에 (Kim, 1999), S 값과 Fig. 2에 표시된 각각의 U 별 R 값을 (3)식에 대입하여 k (kg·s²/m⁴)를 구한 후 유속과의

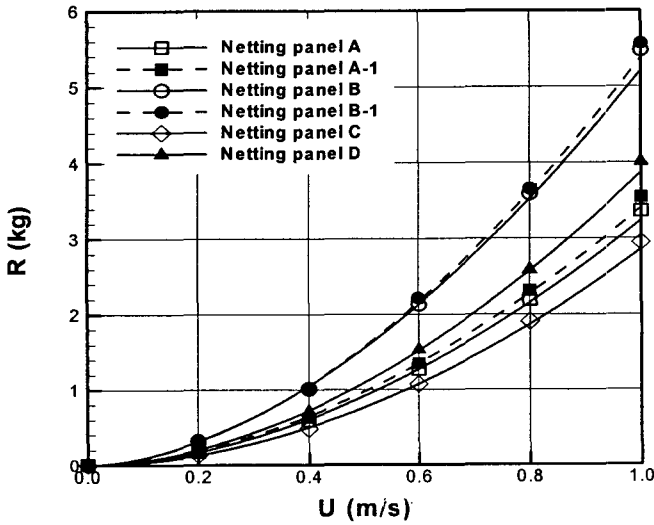


Fig. 2. Relation between the resistance R and the water velocity U for nettings listed in Table 1.

관계를 표시해 보면 Fig. 3이 얻어진다. 이것에서 보면 k 는 모든 그물감에서 U 가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하고 있고, 그물감의 종류별로는 막매듭 그물감보다 랫셀 그물감의 경우에 감소의 정도가 더 큰데, 이와 같이 U 가 증가함에 따라 k 가 감소하는 것은 본 연구에서 사용한 그물감의 저항계수 k 가 레이놀즈 수 R_c 의 영향을 받기 때문이라고 볼 수 있다. 또한 막매듭 그물감보다 랫셀 그물감의 경우에 감소의 정도가 더 큰 것은 랫셀 그물감이 막매듭 그물감보다 그물실의 구조가 더 복잡함으로 인해 유체 점성력의 영향을 더 많이 받기 때문이라고 사료된다.

그런데 R_c 는 그물코를 통과하는 물이 층류인가 난류인가를 나타내는 무차원수로서, 그물감의 대표 치수를 λ , 유속을 U , 물의 동점성 계수를 ν 라 할 때

$$R_c = \frac{\lambda U}{\nu} \tag{4}$$

와 같이 매우 간단한 형태로 주어지나, 여기서 중요한 것은 λ 를 어떤 것을 취하느냐이다. 즉, λ 를 어떤 것으로 취하느냐에 따라 R_c 상사 여부가 결정되는데, 그물감의 경우는 지금까지 가장 간단한 치수인 그물실의 지름 d 를 사용해 온 것이 보통이었으나, Kim (1995)은 그물감과 같이 다수의 매듭과 발이 서로 인접한 채로 연속되어 있는 경우는 모든 매듭과 발들이 반류의 영향을 받을 뿐만 아니라, 그물코의 크기나 전개각 등이 달라짐에 따라 흐름의 상태가 달라지기 때문에 그물실의 지름 d 는 적당한 대표 치수가 될 수 없고, 대신 그물코의 면적에 대한 발들의 체적의 비에 따라 흐름의 상태가 결정된다고 하여 그 비 λ , 즉

$$\lambda = \frac{\pi d^2}{2L \sin 2\phi} \tag{5}$$

을 대표 치수로 정하였다.

따라서 본 연구에서는 (5)식으로 주어지는 λ 가 적합한 것인가를 확인해 보기 위하여, Table 1의 그물감들에 대해 (5)식에 의한

λ 값 및 그에 대한 R_c 의 값을 구하고 그것과 Fig. 3에 표시한 저항계수 $k(\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$ 와의 관계를 표시해 보면, Fig. 4에서와 같이 각 R_c 별 k 의 값은 하나의 곡선상에 매우 정연하게 병기되어 $R_c < 180$ 의 영역에서는

$$k = 350 \left(\frac{\lambda U}{\nu} \right)^{-0.25} \tag{6}$$

으로 표시되고, $R_c \geq 180$ 의 영역에서는 k 에 큰 변화가 없이 92~102 ($\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$) 범위의 값을 취한다. 따라서 (5)식으로 주어지는 λ 는 그물감의 대표 치수로서 매우 적합한 것이라는 것을 알 수 있는데, Kim (1995)은 (6)식의 관계를

$$k = 160 \left(\frac{\lambda U}{\nu} \right)^{-0.10} \tag{7}$$

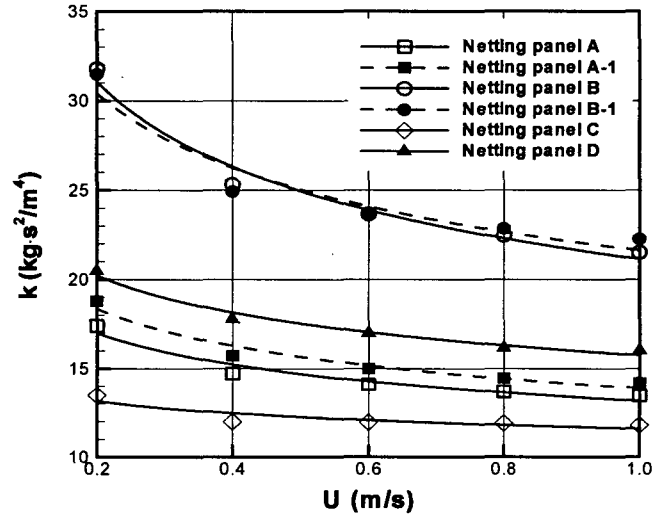


Fig. 3. Relation between the resistance coefficient k and the water velocity U for nettings listed in Table 1.

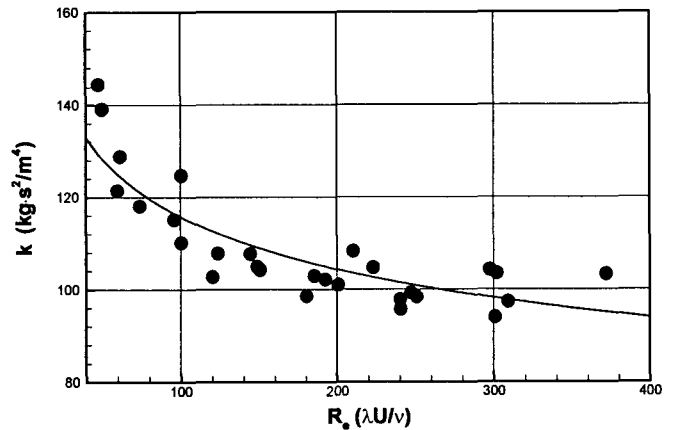


Fig. 4. Variation of the drag coefficient k with Reynolds number $R_c(=\lambda U/\nu)$ at $\alpha=90^\circ$ for nettings listed in Table 1.

으로 구하였기 때문에, 본 연구의 결과는 Kim (1995)의 결과에 비해 k 에 대한 R_c 의 영향이 더 크게 나타난 것으로 볼 수 있다. 이러한 차이는 실험 조건이나 방법의 차이에 기인할 수도 있지만, Kim (1995)은 주로 매듭 그물감을 사용하고 흐름에 대한 그물감의 영각 α 가 $5\sim 90^\circ$ 인 경우에 대해 실험하였다. 이에 비해 본 연구에서는 매듭 그물감외에 앞에서 설명한 바와 같이 R_c 의 영향을 더 크게 받는 관통 그물감을 함께 사용하여 $\alpha=90^\circ$ 인 경우에 대해 실험하였기 때문에, 이와 같은 그물감의 종류 및 영각의 차이로 인해 본 연구 결과가 Kim (1995)의 결과와 차이가 났는지도 모른다.

또한, 그물감의 유수저항에 관해서는 Kim (1995)의 연구 외에도 Løland (1991) 및 Osawa et al. (1983)의 실험 결과가 있기 때문에 이들과도 비교해 볼 필요가 있는데, 본 연구의 실험 결과는 그물감의 저항계수가 R_c 의 영향을 받는 것들인데 비해, Løland (1991) 및 Osawa et al. (1983)의 실험 결과는 R_c 의 영향을 받지 않을 때의 것들이기 때문에, 서로를 바로 비교할 수는 없다. 따라서 전체적인 경향만을 비교해 볼 수밖에 없는데, Løland (1991) 및 Osawa et al. (1983)은 저항계수를 C , 물의 밀도를 ρ 라 하여 그물감의 저항 R 을 $R=C/2\rho S U^2$ 으로 표시하였고, 이것은 (3)식과 비교하면 $C(\rho/2)=k$, 즉 $C=k(2/\rho)$ 이기 때문에, 본 연구의 실험 결과에서 $U=1\text{ m/s}$ 일 때의 R 을 구하고 그것으로부터 그물감의 S_n/S 별 $k(\rho/2)$ 를 계산하여 Løland (1991) 및 Osawa et al. (1983)의 결과와 비교하는 것으로 하였으며, 이 경우 ρ 는 $102(\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$ 를 사용하였다. 그 결과를 나타낸 Fig. 5에 의하면 본 연구에서 구한 S_n/S 별 $k(2/\rho)$ 의 값은 Løland (1991)가 수리 실험을 통해 구한 $k(2/\rho)$, 즉

$$k \cdot \frac{2}{\rho} = 0.04 + [(-0.04 + 0.33(\frac{S_n}{S}) + 6.54(\frac{S_n}{S})^2 - 4.88(\frac{S_n}{S})^3)] \cos \alpha \quad (8)$$

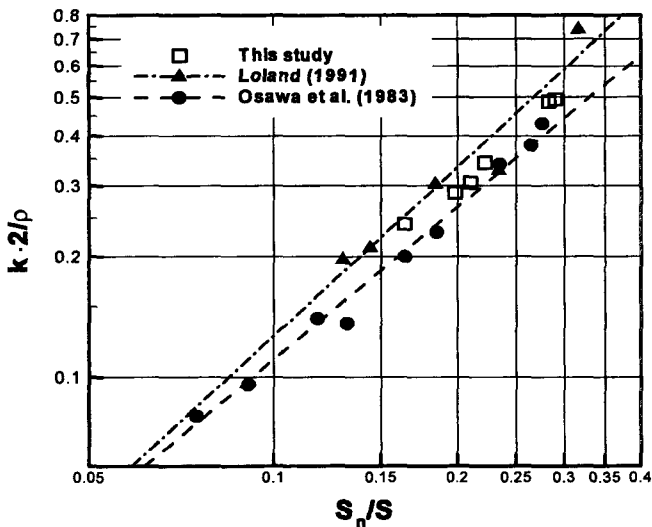


Fig. 5. Relation between $k(2/\rho)$ and S_n/S of nettings listed in Table 1 and its comparison with the results obtained by Løland (1991) and Osawa et al. (1983).

에 의해 계산한 추세선과 Osawa et al. (1983)이 구한 $k(2/\rho)$ 계산식에 의해 계산한 추세선 사이에 들어오기 때문에 본 연구의 실험 결과는 Løland (1991) 및 Osawa et al. (1983)의 실험 결과와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

그런데 Kim (1995)은 그물의 저항을 해석하는 데 있어 그물을 그것의 영역권 내로 물을 유입한 후 영역권 밖으로 투과시키는 하나의 유공성 구조물로 간주하고, 저항계수 $k(\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$ 는 영역권내로의 물의 유입 정도와 영역권 밖으로의 물의 투과 정도에 따라 달라진다고 하여, 그물의 벽 면적을 S , 그물 입구의 면적을 S_m , 그물의 총 투영 면적을 S_n 이라 할 때, R_c 의 영향이 무시되고 흐름에 대한 그물감의 영각 α 가 $45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ 의 범위에 있는 경우에는

$$k = 100 \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{1.20} \left(\frac{S_m}{S} \right) \quad (9)$$

으로 주어진다고 하였으며, 여기서 S_n 및 S_m 은 각각

$$S_n = \frac{d}{L} \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \phi \cos^2 \alpha}}{\sin \phi \cos \phi} \cdot S \quad (10)$$

및

$$S_m = S \sin \alpha \quad (11)$$

로 표시하였다. 따라서 본 연구에서 실험한 것과 같이 α 가 90° 일 경우는 (10)식은 (1)식과 완전히 같아지고, (11)식은 $S_m = S$ 가 되기 때문에, 이것을 (9)식에 대입하면

$$k = 100 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.20} \quad (12)$$

이 얻어진다.

따라서 (9)식 또는 (12)식이 그물감의 저항계수를 대표할 수 있는가를 확인하고, 나아가 본 연구의 실험 결과도 (9)식 또는 (12)식에 따르는 것인가를 확인해 보기 위하여 본 연구의 실험 결과와 Miyake (1927) 및 Osawa et al. (1983)의 실험 결과로부터 S_n/S 별 k 값을 구하고 양대수 방안에 표시해 보면 (Fig. 6), S_n/S 별 k 값은 하나의 직선으로 표시할 수 있는 것으로 보여지고, 본 실험의 결과만을 사용하여 k 와 S_n/S 의 관계를 구해 보면

$$k = 98.6 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.19} \quad (13)$$

이 얻어진다. 따라서 (9)식 또는 (12)식은 그물감의 저항계수를 대표할 수 있는 것으로 보여지고, 본 연구의 실험 결과도 (9)식 또는 (12)식에 따르는 것을 알 수 있다.

그러나 실제 우리형 구조물은 수중에 장기간 설치되기 때문에 그물감의 표면에 여러 종의 해중 생물이 부착되어 유수저항 등 역학적 특성이 초기의 상태에 비하여 크게 달라지고 (Yamaguchi and Nishinokubi, 1998), 특히 가두리 그물에서는 원활한 조류 소통이 방해되어 수질이 악화되며, 그로 인해 어병이 발생될 뿐만 아니라 그물의 수중 무게가 증대되어 시설물 전체의 부양 유지가 곤란해진다 (Kimura, 1984). 따라서 본 연구에서는 해중 생물이 부착된 그물감의 유수저항을 조사하기로 하고, 그 전에 부착 생물의 종류 및 부착 정도를 알아보기 위하여 Table 1의 그물감들을

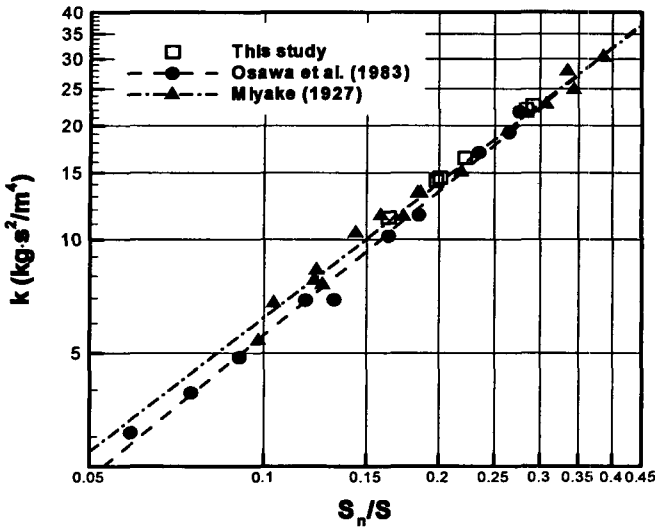


Fig. 6. Relation between k and S_n/S of nettings listed in Table 1.

1995년 6월 9일부터 6월 28일까지 20일간 경남 거제시 동부면 망포만 해역의 수심 5m의 수층에 20일간 침지시킨 뒤에 그물감의 상태 변화를 조사하였다. 이 경우 수중에서 그물감의 형상을 유지하기 위하여 각 그물감을 성형한 틀의 윗면은 2가닥의 로프로써 수면 위에 있는 가두리 시설의 프레임에 묶어서 고정하였으며, 아랫면에는 공기 중 무게가 5kg되는 추를 부착하였다. Fig. 7은 각각의 그물감에 대한 해중 생물의 부착 정도를 나타내는데, 그물감의 종류별로 보면 나일론 랫셀 그물감에서 275g, PE 막매듭 그물감에서 125g으로써 랫셀 그물감의 경우가 막매듭 그물감보다 훨씬 더 크고, 부착 생물의 종류로 보면 갈조류, 홍조류 및 규조류와 같은 해조류가 대부분을 차지하였으며, 특히 갈조류와 홍조류의 경우는 각각 밧셀그물망 *Ectocarpus sp.*과 모로우붉은실 *Polysiphonia morrowii*이었고, 나머지 대부분은 규조류로서 *Coscinodiscus sp.*, *Striatella sp.* 등이 분포하였다. 그런데 해중 생물이 부착된 평면 그물감의 역학적 특성에 대하여 조사한 Yamaguchi and Nishinokubi (1998)의 결과에 의하면, 수중에서 30일 경과된 그물감의 경우 유수저항은 초기의 그것에 비하여 약 5.4배 증가하였으나, 수중 무게의 증가는 유수저항의 증가에 비해 무시해도 좋을 정도로 작게 나타났으며, Yamaguchi (1999)의 실험 결과를 사용하여 15일 및 30일간 침지시킨 평면 그물감에 대해 k 와 S_n/S 와의 관계를 구해 보면 (Fig. 8)

$$k = 176 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.65} \quad (14)$$

이 얻어진다. 이것으로부터 보면 우변의 상수항과 지수항은 (13)식의 것들보다 크게 증가하고 있기 때문에, 그물감에 해중 생물이 부착되면 유수저항이 크게 증가하는 반면, 그물감으로서의 고유 성질이 소실된다는 것을 알 수 있다. 즉, 그물감은 표면이 딱딱한 그물실로 구성되어 있는데 비해 부착 생물은 그 자체가 연한데다 부착 형태도 매우 불규칙적이기 때문에 S_n/S 의 성격이 달라지고, 그로 인해 저항 특성도 달라진다고 볼 수 있다. 따라서 해중 생물

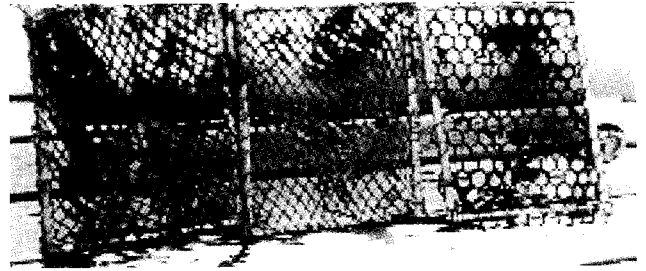


Fig. 7. Fouled netting panels after 20 days immersion at the depth of 5 m in Geoje area.

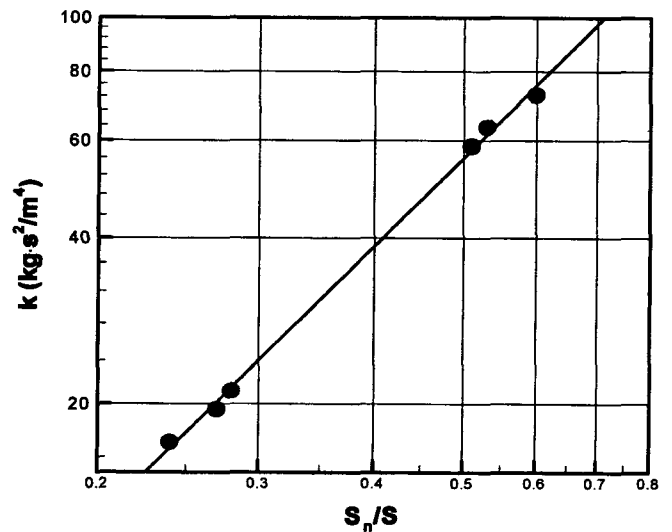


Fig. 8. Relation between k and S_n/S of nettings after 15 and 30 days immersion in sea water (Yamaguchi, 1999).

이 부착된 그물감의 유수저항에 대해서는 더 나은 연구가 필요하고, 그것은 특히 S_n/S 값 해석에 집중되어야 한다고 볼 수 있다.

요 약

프레임에 그물감을 부착하여 구성되는 우리형 구조물의 유수저항을 설계 도면으로부터 정확하게 산정하기 위한 기초 단계로 해서, 4가지 규격의 나일론 랫셀 그물감과 2가지 규격의 PE 막매듭 그물감에 대해 회류 수조에서 수리 실험을 실시하고 저항 특성을 조사하였다. 또한 일정 기간 해중에 침지되어 생물이 부착한 그물감에 대해 저항을 측정된 기존의 실험 결과를 사용하여 그것의 저항계수를 구하고 생물이 부착되지 않은 그물감의 저항계수와 비교하였다. 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 벽 면적이 S 되는 그물감이 유속 U 에서 받는 저항 R 을 $R = kSU^2$ 으로 표시할 경우 저항계수 k ($\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$)는 R_c 에 따라 크게 달라지는데, R_c 의 대표 치수로서 그물코의 면적에 대한 발의 체적의 비 λ , 즉

$$\lambda = \frac{\pi d}{2L \sin 2\phi}$$

을 사용하면 (d : 그물실의 지름, L : 밧의 길이, 2ϕ : 그물코의 전개각), k 는 $Re < 180$ 의 영역에서는

$$k = 350 \left(\frac{\lambda U}{v} \right)^{-0.25}$$

으로 주어졌고, $Re \geq 180$ 의 영역에서는 큰 변화 없이 92~102 ($kg \cdot s^2/m^4$) 범위의 값을 취하였다.

2. 실험에 사용한 그물감들에 대해 벽 면적 S 에 대한 투영 면적 S_n 의 비인 S_n/S 를 계산하고, 그것을 저항계수 k 와 비교한 결과

$$k = 98.6 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.19}$$

이 얻어졌다.

3. 해중에 30일간 침지하여 생물이 부착된 상태의 평면 그물감에 대한 k 와 S_n/S 와의 관계는

$$k = 176 \left(\frac{S_n}{S} \right)^{1.65}$$

으로 주어졌다.

4. 그물감의 유수저항은 방오 도료를 도장하지 않은 그물감보다 도장한 그물감에서 약간 더 큰 경향이었으나, 그 차이는 무시해도 좋을 정도로 작았다.

참 고 문 헌

- Imai, T. 1986. Fundamental studies of the fluid dynamical resistance on the plane netting. Mem. Fac. Fish., Kagoshima University, 35, 169~253 (in Japanese).
- Imai, T. and T. Nakamura. 1989. Fluid dynamical drag coefficient on the weaver's-knot netting relative to Reynolds number. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 1753~1757 (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, 194~201 (in Korean).
- Kim, D.A. 1999. Fishing gear design. Pyoung Hwa Publications, 72~88 (in Korean).
- Kimura, H. 1984. Hydrodynamic resistance of pipes and net fouled with the acorn barnacle. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 51, 549~555 (in Japanese).
- Kumazawa, T., S. Kutsuwa, M. Ishizaki, S. Fuwa and T. Imai. 1993. An analysis of drag coefficient of plane nets made from twisted knotless nettings and Reynolds number. Nippon Suisan Gakkaishi, 60, 167~171 (in Japanese).
- Løland, G. 1991. Current forces on and flow through fish farms, Ph. D. thesis. Division of Marine Hydrodynamics. The Norwegian Institute of Technology, 126~129.
- Milne, P.H. 1970. Fish farming. A guide to the design and construction of net enclosures. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. Marine Research Rep., 1, 185~187.
- Miyake, Y. 1927. On the plane nets in water. J. Imp. Fish. Inst., 23, 21~31 (in Japanese).
- Miyazaki, Y. and T. Takahashi. 1964. Basic investigation on the resistance of fishing Nets (III). The resistance of plane nets. Journal of the Tokyo University of Fisheries, 50, 95~103 (in Japanese).
- Osawa, Y., Y. Tawara and K. Mori. 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 net and Raschel net -. Bulletin of National Research Institute of Fisheries Engineering, 4, 183~196 (in Japanese).
- Osawa, Y. 1985. Studies on resistance of plane net against flow of water III. - Relationship between drag coefficients and hanging ratios of plane nets -. Bulletin of National Research Institute of Fisheries Engineering, 6, 289~296 (in Japanese).
- Yamaguchi, Y. and H. Nishinokubi. 1998. Changes of drag and attaching property of marine foulings on a plane nets in a set-net fishing ground for a given period of time. Fisheries Engineering, 35, 43~50 (in Japanese).
- Yamaguchi, Y. 1999. Effect of porosity on drag coefficient of plane nettings encrusted with marine foulings. Fisheries Engineering, 35, 247~251 (in Japanese).

2000년 9월 28일 접수

2001년 5월 3일 수리