

## 우리형 그물의 유속에 따른 변형 및 적정 침자량

김태호 · 김재오 · 김대안\*

국립수산진흥원 · \*여수대학교

(2000년 12월 16일 접수)

### Deformation of Cage Nets against Flow Velocity and Optimal Design Weight of Sinker

Tae-Ho KIM, Jae-O KIM and Dae-An KIM\*

National Fisheries Research and Development Institute, \*Yeosu National University

(Received December 16, 2000)

#### Abstract

In order to investigate the optimal design weight of sinkers for preventing cage net from deforming in current, the model experiment on 2 types of square cage nets with different  $S_n/S$ , the ratio of total area of netting projected to the perpendicular to the water flow  $S_n$  to wall area of netting  $S$ , and 4 kinds of sinkers was carried out in circulation water channel.

The model cage nets were made in 1/10 scale and the total weight in water of 4 sinkers attached to each corner of their bottom frames was 18, 54, 90, and 126g, respectively equivalent to 0.1, 0.3, 0.5, and 0.7kg per unit area of prototype net. The results obtained can be summarized as follows;

Due to the deformation of each net where it was lifted towards the surface in severe conditions, its volume was reduced. This depended highly on the weight of sinkers placed in the bottom corner of cage nets, even if the variation of  $S_n/S$  had a little effect on their deformation in current less than 0.4m/s. In addition, it was observed that the total weight of sinkers for preventing the net from deforming to the extent of less than 50% inside its initial volume was 31 to 245kg in the range of 0.3 to 0.6m/s and the adequate design weight of sinker was approximately 0.5kg per its unit area.

**Key words** : Cage nets, Current, Sinkers, Deformation, Optimal design weight

#### 서 론

해상에 시설된 우리형 그물은 조류나 파랑에 의하여 그 형상이 수시로 변형되는데, 이러한 변형

은 한편으로 보면 그물의 저항이 증가되는 것을 방지하고 시설의 손실 또는 파손을 방지해 주는 역할을 하나, 다른 한편으로 보면 그물의 용적을 감소시켜서 그 안에 들어 있는 고기들의 운동을

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

제약할 뿐만 아니라 심할 경우에는 어체에 손상을 주어 고기들을 폐사시키는 원인이 되기도 한다.

이와 같은 조류에 의한 그물의 변형을 방지하기 위하여 일반적으로 그물 하단에 납 또는 돌 등과 같은 침자를 다수 부착하는 것이 보통인데, 침자의 수 또는 무게를 늘리면 그물의 변형은 작아질 수밖에 없으나 그물을 크게 긴장시키고 심할 경우는 수면 아래로 침하시키기 때문에, 침자의 수 또는 무게는 적정한 것이 되지 않으면 안 된다 (Beveridge, 1996).

흐름의 변화에 대한 우리형 그물의 변형을 방지하기 위한 적정 침자량에 관해서는 지금까지 비교적 많은 연구(Osawa *et al.*, 1985 ; Namgamatsu *et al.*, 1986 ; Aarsnes *et al.*, 1990 ; Carson, 1990 ; Lø and, 1991)가 행해져 왔지만 그 대부분은 일본, 노르웨이 등에서 사용되고 있는 그물에 대한 것이다.

따라서 본 연구에서는 현재 우리 나라 연안에서 사용되고 있는 우리형 그물을 대상으로 수리 모형 실험을 실시하여 유속 및 침자의 무게를 변화시키고, 그에 따른 그물의 단면 형상, 용적 및 그물의 변형 각도의 변화량을 측정하였으며, 이를 통하여 조류에 대한 그물의 변형 방지에 효과적인 침자의 적정량에 대하여 검토하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

#### 1) 그물감

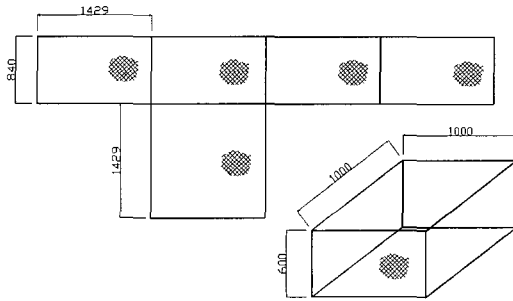
본 연구에 사용된 실물 그물은 크기가 가로 및 세로가 각각 10m이고, 깊이가 6m인 직육면체형 그물로서, 구성 그물감은 그물실의 지름  $d$ 가 1.91mm, 그물코의 크기  $2l$ 이 43.3mm되는 나일론 랏셀 그물감 Td 210×60과 그물실의 지름이 1.66mm, 그물코의 크기가 33.6mm되는 나일론 랏셀 그물감 Td 210×45의 2종류로서 그물감의 투영면적  $S_n$ 에 대한 그물감의 점유면적  $S$ 의 비  $S_n/S$ 를 각각 달리하였다.

모형 그물은 Tauti(1934)의 모형 수칙에 따라 축척비 1/10로 제작하여 실시하였는데, 제작에 사

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

Net	Materials	$d$ (mm)	$2l$ (mm)	$d/l$	$2\phi$ (deg.)	$S_n/S^*$
A	Nylon raschel Td 210 6 ply	0.63	14.4	0.088	90	0.176
B	Nylon raschel Td 210 4 ply	0.55	11.2	0.099	90	0.197

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



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

용된 그물감의 재료 및 규격은 Table 1과 같고, 그물실의 지름과 발의 길이의 비인  $d/l$ 의 값과 그물코의 전개각  $2\phi$ 를 실물의 그것과 같게 하였다. 또한 모형 그물(침자  $m$ 으로 표시)과 실물 그물(침자  $p$ 로 표시)간의 그물실의 지름의 비  $\frac{d_m}{d_p}$ 과 발의 길이의 비  $\frac{l_m}{l_p}$ 은 0.34로 하고, 유속의 비  $\frac{u_m}{u_p}$ 은 0.58, 저항의 비  $\frac{F_m}{F_p}$ 은  $5.8 \times 10^{-3}$ 으로 하였다.

한편, 힘줄은 실물의 경우 지름이 14mm인 나일론 밧줄로 되어 있으나, 모형에서는 지름이 1mm인 나일론 그물실을 사용하였다.

Fig. 1은 모형 그물의 전개도를 나타낸 것으로 완성된 그물의 크기는 한 변이 1m이다.

#### 2) 침자

Table 2는 모형 그물에 부착한 침자의 사양으로 총 무게는 실물 그물의 면적 1 m<sup>2</sup>당 각각 0.1, 0.3, 0.5 및 0.7kg이 되도록 변화시켜 실험을 행하였다.

침자의 재질은 납이고, 그 형상은 원형으로 총 4개의 침자를 그물 하단 모서리의 힘줄에 각 1개씩

**Table 2. Specifications of sinkers attached to model nets**

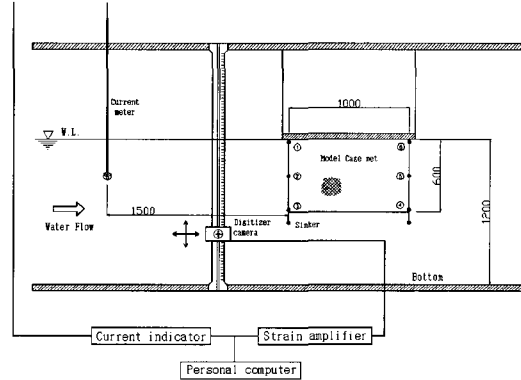
Sinkers	Materials	Weight in water per a sinker (g)	Number of sinkers
S1 (0.1kg/m <sup>2</sup> )	lead	4.5	4
S2 (0.3kg/m <sup>2</sup> )	"	13.5	"
S3 (0.5kg/m <sup>2</sup> )	"	22.5	"
S4 (0.7kg/m <sup>2</sup> )	"	31.5	"

부착하였으며, 침자 1개의 수중 무게는 4.5, 13.5, 22.5 및 31.5g으로 하였다.

## 2. 실험 방법

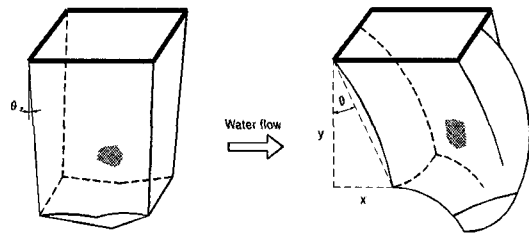
실험은 백경공업사(주)의 수직 순환형 회류 수조(관측부 길이 : 3.6m, 수로 폭 : 2.0m, 수심 : 1.2m)에서 행하였는데, 유속은 0.2~1m/s의 범위에서 약 0.1m/s의 간격으로 변화시켜 침자의 종류별 유속의 변화에 따른 그물의 단면 형상을 측정하였다. 실험에서는 모형 그물 입구의 형상을 고정하기 위하여 내면의 크기가 가로 1m이고, 세로 1m인 PVC로 제작된 정사각형의 부력재 프레임(파이프의 지름 : 30mm)에 모형 그물을 부착하고, 흐름에 대한 영각  $\alpha$ 가 90°로 유지되도록 수면에 설치하였다. 이 경우 그물이 흐름에 떠밀려 가지 않도록 하기 위하여 지름이 2mm되는 가는 줄로써 실험 수조의 모형 지지봉에 틀을 고정하였으며, 프레임은 수면상에 1/2 정도 노출되도록 하였다.

Fig. 2는 모형 그물의 단면 형상의 변화를 측정하기 위한 실험 장치의 구성을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 그물의 단면 형상은 ①~⑥과 같이 그물 단면의 앞쪽과 뒤쪽 모서리 상단부(틀과 연결되는 지점), 중앙부 및 하단부(침자가 부착되는 지점)의 힘줄 부분에 일정 표시를 한 후, 수조의 관측창에 설치된 디지털카메라로 측정하였다. 즉, 그물의 형상 변화에 따라 수조의 X 및 Y 방향으로 디지털카메라를 이동시켜 각 관측점의 중앙에 디지털카메라 렌즈의 초점을 정확히 맞춘 후, 디지털카메라에 부착된 버튼을 누르면 모형 그물의 X 및 Y의 좌표 값이 측정되도록 하였다. 이 경우 그 값은 증폭기와 AD 컨버터를 통하여 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 유속은 프로펠러식 유속계(Kneck, VO-203A)로 측정하고, 그물에 작용하는 유수저항은 로드셀(Teac. Tu-CR 10K, 용량 : 10kg)과 증폭



**Fig. 2. Model experiment setup for measuring deformation of cage nets hung to frame in flow velocity (unit : mm).**

- ①, ⑥ : Upper corner of cage net
- ②, ⑤ : Middle part of cage net
- ③, ④ : Lower corner of cage net



**Fig. 3. Measurements of the deformation angle of model nets in flow velocity.**

기(Nisho Denki, LMC-3504)로 측정하였다.

한편 디지털카메라로 측정된 침자 및 유속별 그물의 단면 형상에 대해 면적계를 사용하여 그 단면적을 구하였으며, 흐름에 의해서 복잡하게 변형하는 그물의 용적을 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에, 본 연구에서는 측정된 그물의 단면적에 그물 폭의 길이를 곱하여 우리형 그물의 용적으로 표현하였다.

또한 실험에서는 유속에 대한 모형 그물의 변형 각도를 구하였는데, Fig. 3은 모형 그물의 변형 각도를 측정된 지점을 나타낸 것이다. 이것에서 흐름의 영향을 받으면 가장 많이 변형되는 부분인 그물 앞쪽의 침자가 부착되는 하단점으로부터 이에 대응하는 프레임과 부착되는 상단점까지의 수평 거리 x와 수직 거리 y를 측정하여 x 및 y에 의한 상단과 하단을 연결하는 선과 수직을 이루는 각도

인  $\theta(\theta = \tan^{-1}x/y)$ 를 구하였다. 한편 모형 그물은 저면 모서리 부분에 부착된 침자에 의해 흐름이 없는 정수중의 상태에서도 변형이 있기 때문에, 유속이 없는 정수중의 변형 각도  $\theta_0$ 를 측정하여 그물의 변형 각도의 변화량을  $\theta - \theta_0$ 에 의해 구하였다.

## 결과 및 고찰

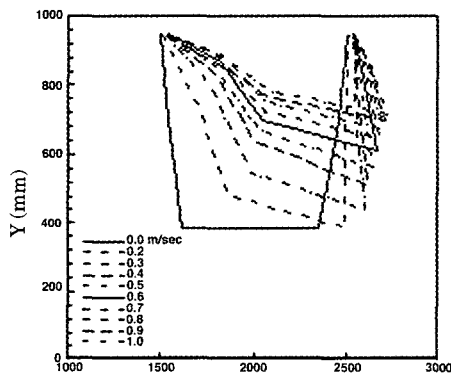
### 1. 단면 형상 변화

Fig. 4는 디지털로써 측정된 침자의 종류별 유속의 변화에 따른 모형 그물(A 그물)에 대한 단면 형상의 변화를 측정된 결과이다. 이것에서 보면, 모형 그물의 설계 도면으로부터 계산된 정수

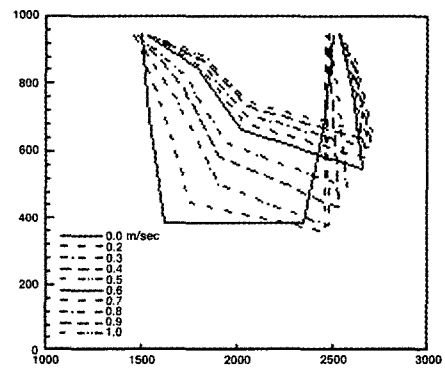
중 모형의 단면적은  $0.6m^2$ 이지만 수조에 설치된 실제 그물의 형상이 사각형을 이루지 못하기 때문에 그 단면적은 처음부터  $0.6m^2$ 보다 작게 나타나고 있으며, 흐름이 작용하면 그물이 후방으로 날리고 유속이 커짐에 따라 그 정도가 심해지기 때문에 그물의 단면적은 급격히 감소한다.

### 2. 용적의 변화

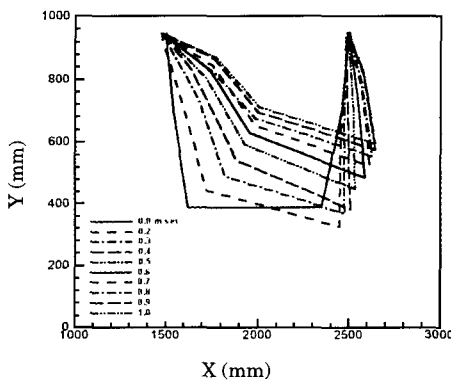
Fig. 5는 그물의  $S_n/S$  값이 서로 다른 2종의 모형 그물에 대해 침자의 종류별 유속의 변화에 따른 용적의 변화를 나타낸 것이다. 이것에서 보면 침자의 무게가 증가할수록 그물이 날리는 현상이 작아져서 그물의 용적도 변화가 작아진다는 것을 알 수 있다.



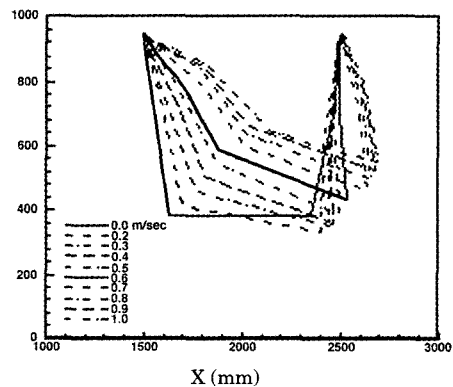
(a) With sinker S1 ( $0.1kg/m^2$ )



(b) With sinker S2 ( $0.3kg/m^2$ )



(c) With sinker S3 ( $0.5kg/m^2$ )



(d) With sinker S4 ( $0.7kg/m^2$ )

Fig. 4. Deformation of model net A as function of flow velocity by weight of sinkers.

침자의 종류별 유속에 따른 그물의 용적 변화를 보면, 무게가 비교적 가벼운 S1과 S2 침자를 부착한 경우에는 유속이 0.2m/s일 때 용적이 급격히 감소하였으나, 유속이 0.4m/s 이상일 때는 거의 일정한 비율로 서서히 감소하는 경향이였다. 한편 무게가 비교적 큰 S3과 S4 침자를 부착한 경우에는 유속이 0.2m/s일 때에는 용적의 변화가 매우 작았으나, 유속이 0.3m/s 이상일 때는 일정한 비율로 감소하는 경향이였다.

또한 S1, S2, S3 및 S4의 침자를 부착한 모형 그물의 용적은 유속이 1m/s에 달하면 초기의 그것에 비하여 각각 23%, 31%, 39% 및 43%로 매우 크게 감소하였다. 한편 Aarsnes *et al.*(1990)의 연구 결

과에 의하면 용적이 12,000m<sup>3</sup>인 우리형 그물에 102kg의 침자를 부착한 경우 유속이 0.25m/s일 때에는 그물의 용적이 40% 감소하였고, 유속이 0.5 및 1m/s일 때에는 각각 72%와 91% 만큼 감소하였으며, 408kg의 추를 부착한 경우에는 유속이 0.5 및 1m/s일 때 그물의 용적이 초기에 비해 각각 45%와 80%만큼 감소하였다.

이상과 같이 조류에 의해 그물의 용적이 감소하면 양식용 가두리 그물의 경우는 어류의 성장에 있어 제한 요소인 사육 밀도가 증가하게 되어 어류에 대한 스트레스 지수가 높아지게 되고, 낙망의 경우는 유속이 0.2m/s일 때 헛통 부분의 아랫자락이 많이 부상하고 유속이 0.3m/s일 때에는 그부분의 용적이 40% 정도 감소하여 입망 어군의 잔류 효과를 떨어뜨리므로(Jeoung *et al.*, 1997), 그물의 용적 감소를 방지하기 위해서는 침자의 무게를 적정의 것으로 결정하는 것이 매우 중요하다.

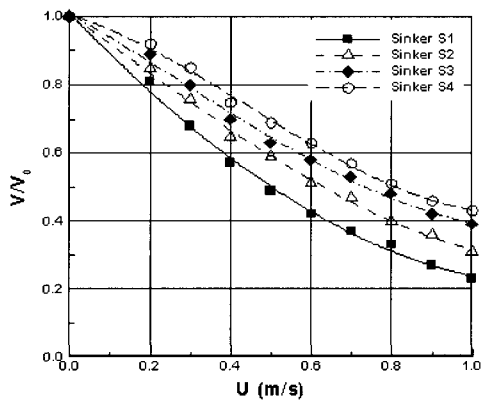
본 연구에서 대상으로 한 가로 및 세로가 각각 10m이고 깊이가 6m인 우리형 그물에 침자의 수중 무게가 그물감 1m<sup>2</sup>당 0.1kg인 총 31kg의 침자를 부착한 경우, 유속이 1m/s일 때 그물의 용적이 75% 이상 감소하는데, 이는 어류의 사육 밀도가 400% 이상 증가하는 것과 같은 의미를 가진다.

한편, 그물의  $S_n/S$  값의 변화는 유속이 비교적 느린 0.4m/s 이하에서는 그물의 용적 변화에 영향을 끼치지 않지만, 0.5m/s 이상의 유속에서는 거의 영향을 끼치지 않는 것으로 판명되었다.

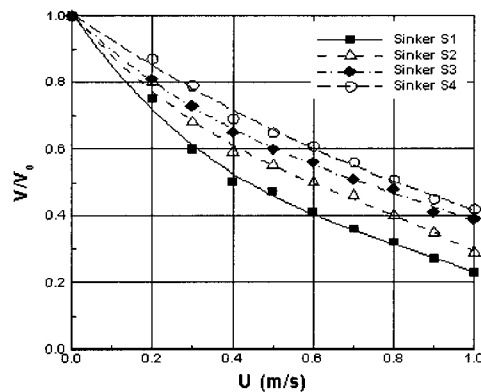
유속에 대한 그물의 형태별 용적 변화를 조사한 Nagamatsu *et al.*(1986)의 연구 결과에 의하면, 유속이 0.05~0.4m/s의 범위에서 변화할 때는 원통형 그물에서 용적의 감소가 가장 작았으나, 유속이 0.5m/s 이상일 때에는 반대로 직육면체 및 팔각기둥형 그물에서 용적의 감소가 작게 나타났다.

### 3. 변형 각도의 변화량

Fig. 6은 유속에 대한 모형 그물의 변형 각도의 변화량( $\theta - \theta_0$ )을 나타낸 것이다. 이것에서 보면, 흐름에 대한 침자의 무게별 그물의 변형 각도의 변화량은 유속이 0.4m/s일 때까지는 크게 증가하고 그 이후부터는 서서히 증가하고 있으며, 유속이 1m/s일 때의 변형 각도의 변화량은 45~55°이

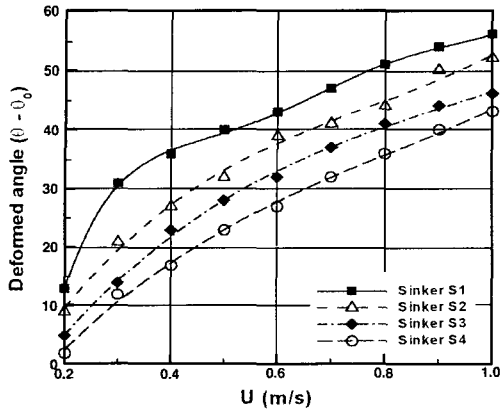


(a) Net A ( $S_n/S=0.176$ )

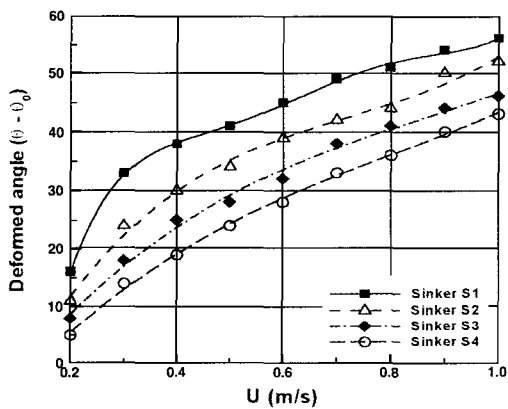


(b) Net B ( $S_n/S=0.197$ )

Fig. 5. Net volume relative to a reference volume, as function of  $S_n/S$  and flow velocity.



(a) Net A ( $S_n/S = 0.176$ )



(b) Net B ( $S_n/S = 0.197$ )

Fig. 6. Relation between deformed angle of nets and flow velocity by weight of sinkers.

다. 그리고 앞의 Fig. 5에서 그물의 용적을 정수시 그것의 50% 이상으로 유지하기 위한 유속은 0.5 ~ 0.8m/s로 나타났으며, 이 경우 변형 각도의 변화량은 약 25~50°이다. 또한 그물의  $S_n/S$  값이 증가하면 유속이 0.4m/s 이하일 때에는 그물의 용적이 다소 감소하였으나 변형 각도의 변화량은 증가하였다.

#### 4. 적정 침자량

Fig. 7은 유속의 변화에 따른 A 그물( $S_n/S = 0.176$ )의 하부에 침자를 부착하지 않는 상태에서 측정된 유수저항  $R_0$ 에 대한 S1, S2, S3 및 S4 침자를 부착한 경우의 유수저항  $R$ 에 대한 비를 나타낸

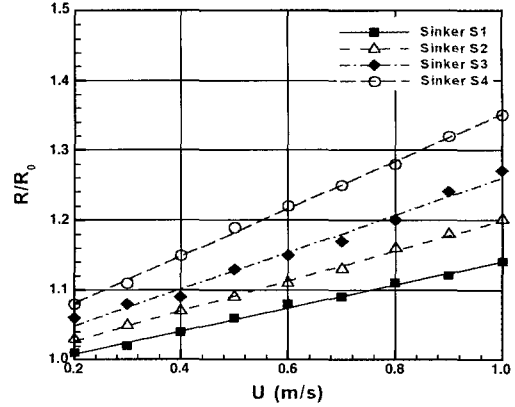


Fig. 7.  $R/R_0$  on model net A as function of flow velocity.

것이다. 이것에서 보면, 침자가 무거울수록 유수저항의 비는 증가하고 있으며, S1, S2, S3 및 S4 침자를 부착한 상태에서 유속이 1m/s일 때 우리형 그물에 작용하는 유수저항은 침자가 부착되지 않는 경우에 비하여 각각 1.14, 1.20, 1.27 및 1.35배 증가하였다. 이와 같이 침자가 무게가 크면 그물의 변형 방지에는 효과가 있으나, 유수저항이 증가하게 되므로 침자의 무게는 적정의 것으로 매우 정확하게 정하지 않으면 안 된다는 것을 알 수 있다.

이상의 연구 결과를 모두 종합하면, 조류에 의한 그물의 변형을 방지하기 위한 가장 확실한 방법은 침자의 무게를 증대시키는 것이라고 볼 수 있으나, 침자 S4의 경우 S3에 비하여 유속에 대한 용적 변화의 차이가 크지 않을 뿐만 아니라, 침자의 무게가 너무 무거우면 가두리 그물의 각 부분에 불필요한 힘이 작용하게 되므로, 우리형 그물에 부착하는 침자의 적정량은 해당 그물의 면적 1m<sup>2</sup>당 0.5kg 정도라고 사료된다.

또한 조류의 작용에 대해 그물의 용적을 정수시 용적의 50% 이상으로 유지하기 위해서는, 유속이 각각 0.3, 0.4, 0.5 및 0.6m/s일 때 침자의 총 무게를 각각 31, 102, 174 및 245kg으로 하는 것이 좋을 것으로 확인되었다.

#### 요 약

그물의  $S_n/S$  값이 서로 다른 2가지의 상자 구조

의 우리형 그물을 1/10로 축소한 모형에 대해 실물 그물의 면적  $1m^2$ 당 각각 0.1, 0.3, 0.5 및 0.7kg에 상당하는 침자를 그물의 각 모서리에 1개씩 총 4개를 부착하여 회류 수조에서 유속의 변화에 대한 그물의 변형을 측정하고, 이를 통해 조류에 의한 우리형 그물의 형상 유지에 효과적인 침자의 적정량에 대하여 검토하였다. 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유속이 증가함에 따라 그물이 날림으로써 그것의 용적은 급격히 감소하였으나, 변형 각도의 변화량은 증가하였다.
2. 그물의  $S_n/S$  값은 유속이  $0.4m/s$  이하일 때는 그물의 변형에 약간의 영향을 끼쳤지만 유속이  $0.5m/s$  이상일 때는 별다른 영향을 끼치지 않았다.
3. 그물의 변형은 유속, 침자의 무게 및  $S_n/S$  값에 의해 결정되었다.
4. 그물의 용적을 50% 이상으로 유지하기 위한 침자의 총무게는 유속이  $0.3\sim 0.6 m/s$ 일 때  $31\sim 245kg$ 이고, 침자의 적정량은 그물의 면적  $1m^2$ 당  $0.5kg$  정도로 나타났다.

#### 참고문헌

- Aarsnes, J. V., Rudi, H. and Loland, G.(1990) : Current forces on cage, net deflection. Engineering for Offshore Fish Farming, Thomas Telford, London, 137~152.
- Beveridge, M.(1996) : Cage aquaculture 2nd edition, Fishing News Books, Oxford, 51~54.
- Carson, R. M.(1990) : Engineering analysis and design of cage systems for exposed locations. IChemE Symposium Series 111, 77~96.
- Fu, E. B., Nashimoto, K. and Yamamoto, K. Hiraishi, T. and Takagi, T.(1994) : Model experiment examination of mooring method in aquaculture net cage, Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University 45(1), 9~18 (in Japanese).
- Jung, G. C., Kwon, B. G. and Lee, J. H.(1997) : Dynamic behaviour of model set net in the flow, Bull. Korean Soc. Fish. Tech. 33(4), 275~284 (in Korean).
- Kim, T. H.(2000) : Hydrodynamic characteristics of frame structures for fishery, Ph. D. thesis, Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, 67~84 (in Korean).
- L. and G.(1991) : Current forces on and flow through fish farms, Ph. D. thesis. Division of Marine Hydrodynamics, The Norwegian Institute of Technology, 126~129.
- Nagamatsu, K., Nishinokubi, H. and Nakasai, K. (1986) : The mechanical eristics of a netting store pot, Bulletin of the Faculty of the Fisheries, Nagasaki University 59, 1~10 (in Japanese).
- Osawa, Y., Tawara, Y. and Taketomi, H.(1985) : Studies on behaviour of fish cage against flow of water II. - On relationship between volume of fish cage and current velocity-, Bulletin of National Research Institute of Fisheries Engineering 6, 297~321 (in Japanese).
- Tauti, M.(1934) : A Relation between experiments on model and full scale of net, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 3(4), 171~177 (in Japanese).