

## 발돌의 형상 및 배치 방법의 변화에 따른 모형 가두리 그물의 변형 및 유수저항 특성

김상국 · 양경욱<sup>1</sup> · 김대안<sup>1</sup> · 김태호<sup>1\*</sup>

서해어업지도사무소, <sup>1</sup>전남대학교 해양기술학부

### Deformation and flow resistance characteristics of model net cages according to shapes and arrangements of sinkers

Sang-Kook KIM, Kyong-Uk YANG<sup>1</sup>, Dae-An KIM<sup>1</sup> and Tae-Ho KIM<sup>1\*</sup>

*West Sea Fisheries Supervision Office, Jeonnam 530-140, Korea*

*<sup>1</sup>Faculty of Marine Technology, Chonnam National University,  
Jeonnam 550-749, Korea*

The objective of this study was to investigate the optimal shapes and arrangements of sinkers attached to net cages to prevent their deformation in a current. A series of model experiments were conducted in a circulating water channel, using 5 different types of sinker (high-weighted ball, low-weighted ball, column-type, egg-shaped and iron bar-framed) and 2 types of square net cage constructed from both Nylon Raschel netting and Nylon knotted netting, on a 1/20th scale. The deflection of the model nets against the flow was smallest with the iron bar-framed weight compared to the other four types of sinker. It was expected that the optimal shapes of sinkers would be either the ball or egg-shape; however, iron bar-framed weight actually had larger drag forces. The dispersed deployment of sinkers on the bottom frames of model net cages performed better with relatively slow flows, while the concentrated deployment at 4 corners functioned better with relatively fast flows, in preventing the nets from becoming severely deformed. The deformation of the net cages was larger for the Nylon knotted netting than the Nylon Raschel netting. With respect to flow resistance, the Nylon Raschel netting, rather than the Nylon knotted netting, was more suitable for construction of net cages.

Key words : Model net cages, Sinkers, Deformation, Flow resistance

\*Corresponding author: kimth@chonnam.ac.kr, Tel: 82-61-659-3121, Fax: 82-61-659-3121

## 서 론

해상에 시설된 가두리 그물은 조류나 파랑에 의하여 그 형상이 수시로 변형된다. 이러한 변형은 그물의 저항이 증가되는 것을 방지하고 시설의 손실 또는 파손을 방지해 주는 역할을 하지만, 그물의 용적을 감소시켜 가두리 그물 내부에서 성장하는 어류의 운동을 제약할 뿐만 아니라 심할 경우에는 어체에 손상을 주어 어류들을 폐사시키는 원인이 되기도 한다(Kim et al, 2001). 이와 같은 조류에 의한 그물의 변형을 방지하기 위하여 일반적으로 그물 하단에 납 또는 돌 등과 같은 발들을 다수 부착하는 것이 보통인데, 발들의 수량과 무게를 늘리면 그물의 변형은 작아지지만 그물이 받는 인장력이 증가하고 심할 경우는 가두리가 수면 아래로 침하 할 수 있기 때문에, 발들의 수 또는 무게는 적정한 것이 되지 않으면 안 된다(Beveridge, 1996).

따라서, 유속의 증가에 따른 가두리 그물의 형상 유지를 위하여 중요한 것은 발들의 적정 무게, 발들의 배치 방법 등을 들 수 있다. 그러나 흐름의 변화에 따른 가두리 그물의 변형을 방지하기 위한 발들의 적정 무게 및 배치 방법에 관해서는 지금까지 비교적 많은 연구(Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, 1978, 1980, 1982; Osawa et al., 1985; Namgamatsu et al., 1986; Aarsnes et al., 1990; Løland, 1991; Kim et al., 1998; Kim et al., 2001; Lee and Lee, 2004; Lader and Enerhaug, 2005)가 행해져 왔지만 그 대부분은 그물에 대한 것이거나, 발들의 적정 무게 및 배치 방법에 대한 것이며, 발들의 형상을 고려한 배치 방법에 따른 연구는 거의 시도된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 2종류의 가두리 그물을 대상으로 5가지 형태의 발들 모형을 제작하여, 회류수조에서 모형실험을 실시하고 유속의 변화에 대한 발들의 종류 및 배치 방법에 따른 가두리 그물 측면의 형상 변화와 날림 각도 변화 및 그물 유수저항의 변화를 측정하였다. 또한, 모형실험 결과의 유효성을 검증하기 위해 본 연

구에서 대상으로 한 5가지 형태의 발들 중 2가지 종류의 발들을 대상으로 수치해석을 실시하여 유속에 대한 발들만의 날림 각도 변화량과 발들이 부착된 모형 가두리 그물의 그것을 구한 후 실험 결과와 비교하였다. 이를 통하여 유속에 대한 가두리 그물의 날림 방지에 가장 적합한 발들의 형상과 배치 방법에 대해 규명하였다.

## 재료 및 방법

### 모형실험

#### 모형 가두리 그물

본 연구에 사용된 실물 가두리 그물은 남해안 일원에서 가장 많이 사용되는 것으로서 그 크기가  $10 \times 10 \times 10\text{m}$ 인 정육면체 그물로서 그물코의 성형률은 0.7이며, 구성 그물감은 그물실의 지름  $d$ 가 1.66mm, 그물코의 크기  $2l$ 이 33.6mm되는 나일론 랏셀 그물감 Td 210×45이다.

모형 가두리 그물은 실험 수조의 규모를 고려하여 Tauti(1934)의 상사법칙에 따라 1/20의 크기로 제작하였으며, 제작에 사용된 모형 가두리 그물감의 재료 및 크기는 Table 1과 같고, 완성된 모형 가두리 그물의 전개도는 Fig. 1과 같다. 또한 모형 가두리 그물의 크기는 한 변의 길이가 500mm이며, 가로 및 세로 그물코의 성형률은 실물 가두리 그물에서와 같은 0.7로 하였다. 그리고, 그물실의 지름  $d$ 와 발의 길이  $l$  비인  $d/l$ 의 값과 그물코 전개각  $2\phi$ 를 실물 가두리 그물과 동일하게 하였다.

모형 가두리 그물의 힘줄은 실물의 경우 지름

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

Materials	$d$ (mm)	$2l$ (mm)	$d/l$	$2\phi$ (deg.)
Nylon Raschel netting Td 210×4	0.65	13.2	0.099	90
Nylon knotted netting Td 210×4	0.55	11.2	0.099	90

$d$ : Diameter of netting twines

$2l$ : Mesh size

$2\phi$ : Mesh angle

이 14mm인 나일론 밧줄로 되어 있으나, 모형에서는 그물의 형상 유지를 위하여 지름이 1mm인 스테인리스 와이어를 사용하였으며, 모형 가두리의 프레임은 각 변의 내면 길이가 500mm이고, 지름이 32mm인 PE 재질의 파이프를 사용하여 제작하였다.

본 연구에서는 실물 그물과 같은 매듭이 없는 나일론 랫셀 그물감을 사용하였으며, 그물감 매듭의 유무에 따른 가두리 그물의 역학적 특성을 파악 하고자 PA계통의 나일론 막매듭 그물감에 대한 추가 실험을 하여 비교 · 분석하였다.

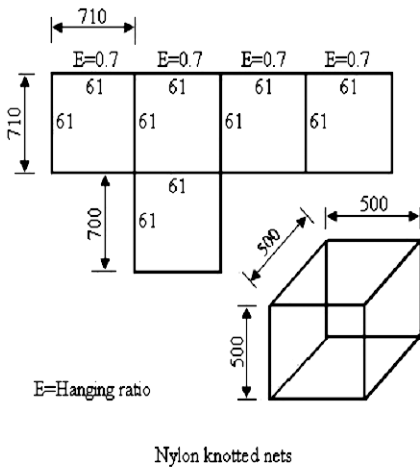
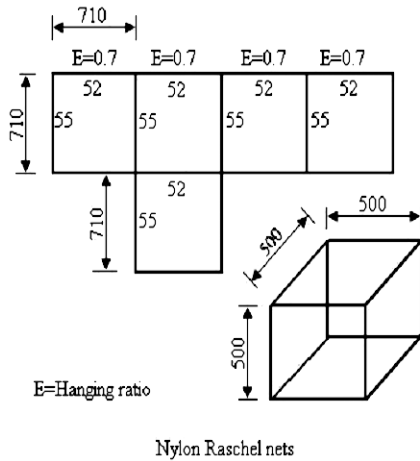


Fig. 1. Model nets used in the experiment(unit: mm).

한편, Tauti(1934) 상사법칙을 적용한 실물 가두리 그물과 모형 가두리 그물의 관계는 다음과 같다.

실물 크기( $\lambda_1$ )와 모형 크기( $\lambda_2$ )의 축척 비( $\Lambda$ )

$$\Lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{0.5}{10} = \frac{1}{20} = 0.05$$

단,  $\lambda$ 는 그물의 대표 길이를 나타낸다.

그물실의 지름( $d$ ) 및 그물코 한 발 길이( $l$ )의 치수 비

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{4} = 0.25$$

유속의 비( $V$ )

$$V = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{\rho_2 - 1}{\rho_1 - 1}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = 0.5$$

단,  $\rho$ 는 그물감의 비중을 나타낸다.

힘의 비( $F$ )

$$F = \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2 \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = \left(\frac{1}{20}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 6.25 \times 10^{-4}$$

여기서,  $F$ 는 부력, 침강력 및 유수저항의 비이다.

발들

수중에 부설된 정치망이나 가두리 그물 등에서 그물의 형상을 유지하기 위해 여러 종류의 발들이 사용되고 있는데, 이들 재료로 주로 사용되고 있는 것은 돌이나 철 및 납 등이며, 형상은 대부분 구형이다.

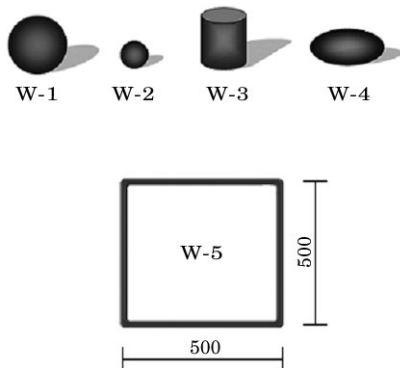
본 연구에서는 새로운 형태의 가두리 그물용 발들을 개발하기 위해 Table 2와 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 무게 50g의 구형(W-1), 무게 16.7g의 구형(W-2), 무게 50g의 원주형(W-3), 무게 50g의 계란형(W-4) 및 무게 200g의 철봉 프레

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

Sinkers	Shape	Materials	Size (mm)	Weight in air(g)	No. of sinkers	Total weight in air(g)
W-1	Ball	Iron	φ23.2	50	4	200
W-2	Ball	Iron	φ15.9	16.7	12	200
W-3	Column	Iron	φ20×20.6	50	4	200
W-4	Egg	Iron	32.2*×20**	50	4	200
W-5	Iron bar of frame	Iron	φ4×500	200	1	200

\*: Major axis

\*\* : Minor axis

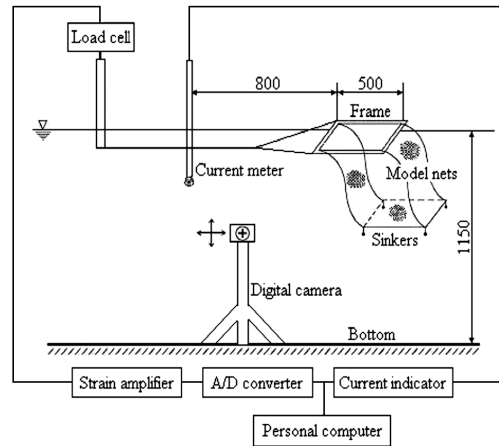


**Fig. 2. Sinkers attached to the model nets(unit: mm).**

입형(W-5)의 5종류를 제작하였으며, 발들의 재질은 철이 사용되었다. 그리고 구형 발들은 공기 중 발들의 총 무게는 같지만 50g의 W-1 발들 4개를 그물감의 밀판 모서리 4곳에 집중 배치하는 경우와, 16.7g인 W-2 발들 12개를 그물 밀판 힘줄 부분에 균일하게 배치하는 경우로 나누어 실험을 실시하였다. 즉, 발들을 집중 배치하는 경우와 분산 배치하는 2가지 조건으로 나누어서 실험을 실시하였다.

**실험 수조 및 장치**

본 실험에 사용된 수조는 부경대학교에 설치된 수직 순환형 회류 수조로서 그 크기는 전체가 10,200(L)×2,800(W)×3,200(H)mm이며, 관측부는 6,000(L)×2,200(W)×1,400(H)mm이다. 수조의 유속은 제어장치에 의하여 설정된 값에 따라 컴퓨터로 제어가 가능하며, 유속 범위는 0.02 - 1.2m/s이고 유속 편차는 1.0m/s에서 ±4%이다.



**Fig. 3. Model experiment setup for measuring the deformation and the drag force of model nets hung to the frame in flow velocity(unit: mm).**

실험 시 유속은 프로펠러식 유속계(VOT 2 - 200 - 20, KENEK)를, 유수저항은 로드셀(용량 : 2kg, UWTP - 20)을 사용하였으며, 그물 단면의 형상 변화는 디지털 카메라(DSC - F717, SONY)로 촬영 후 사진 판독으로 분석하였다.

이 경우 유속과 유수저항의 측정치는 매 유속마다 20초 동안 1,000개의 데이터에 대해 Fig. 3에 나타난 바와 같이 증폭기를 거쳐 A/D 변환기(FBI series IBX - 3119, 16ch - 12bit, Interface Co.)를 통해 컴퓨터에 입력하여 그 평균치를 사용하였다.

**실험 방법**

모형실험은 수직 순환형 회류수조에서 유속

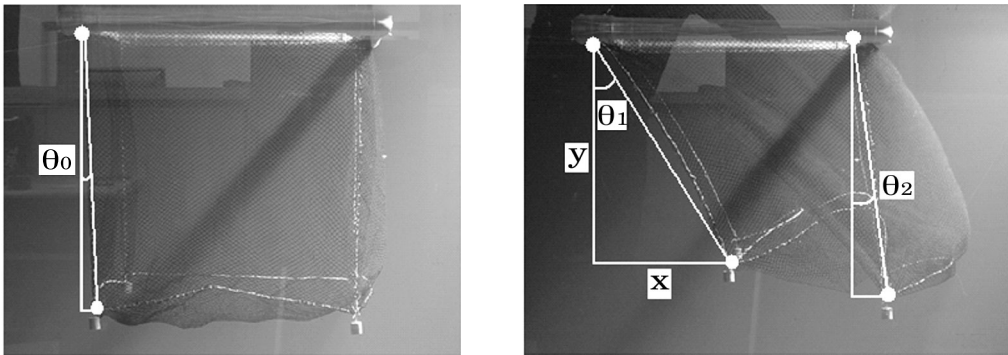


Fig. 4. Measurements of the deformation angle of model nets in flow velocity.

을 0.0 – 0.5m/s(실제 유속 0.2 – 1.0m/s)의 범위에서 0.1m/s씩 5단계로 변화시켜 발들의 종류별 유속의 변화에 따른 모형 가두리 그물의 단면 형상 변화와 날림 각도의 변화량 및 유수저항을 측정하였다.

모형 가두리 그물은 흐름에 대한 영각  $\alpha$ 가 90°로 유지되도록 수면에 설치하였으며, 가두리 그물에 작용하는 유수저항의 측정이 용이하고 흐름에 그물이 떠밀려 가지 않도록 하기 위하여 지름이 0.5mm인 스테인리스 줄로써 실험 수조의 스위드 하단에 로드셀과 모형 가두리의 프레임의 고정하였다. 이 경우 가두리 그물의 유수저항 값은 앞에서 설명한 바와 같이 증폭기와 A/D 변환기를 통하여 컴퓨터에 입력되도록 하였으며, 가두리 그물의 단면 형상은 실험 수조의 관측창으로부터 약 1m 떨어진 지점에 고정된 디지털 카메라로써 촬영되었다.

흐름에 대한 모형 가두리 그물의 날림 각도를 구하기 위해 Fig. 4에서와 같이 유속이 0.0m/s인 정조시의 위치를 초기 각도로 하고, 그물 상단부 프레임과 하단부인 발들 부분을 기준점으로 유속의 증감에 따라 수평 거리  $x$ 와 수직 거리  $y$ 를 구하여 흐름에 따른 모형 가두리 그물의 기울기  $\theta(\theta = \tan^{-1}x/y)$ 를 구하였다. 그런데 모형 가두리 그물은 흐름이 없는 정조 상태에서 그물의 변형이 조금은 있기 때문에, 초기 각도를  $\theta_0$ 로 하여 기울기의 변화량( $\theta_1 - \theta_0, \theta_2 - \theta_0$ )으로 비교·

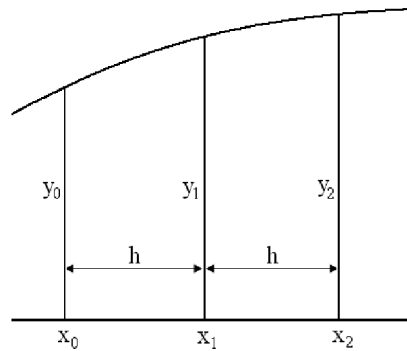


Fig. 5. Simpson integral calculus.

분석하였다.

또한, 앞에서 언급한 바와 같이 구형의 발들은 무게가 50g인 발들(W-1)을 그물 하부 모서리 4곳에 1개씩 배치하는 경우와, 무게가 16.7g인 발들(W-2)을 그물 하부 힘줄 한 변에 4개의 발들을 167mm의 일정한 간격으로 분산 배치하여 총 12개의 발들을 부착하는 경우로 나누어 실험을 실시하였으며, 이 경우 발들의 총 무게는 양쪽 모두 같게 하였다.

한편, 모형 가두리 그물의 단면적은 디지털 카메라로 촬영한 5종류의 발들 및 유속별 그물의 단면 형상에 대해 심프슨(Simpson) 공식을 이용하여 구하였다. 즉, 모형 가두리 그물의 단면적 계산 시 적분하고자 하는 임의의 곡선을 Fig. 5와 같이 표시되는 2차 포물선으로 가정하여 (1)식에 의해 단면적  $A$ 를 구하였다.

$$A = \int_{x_0}^{x_n} f(x) dx = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 4y_{n-1} + y_n) \quad (1)$$

그런데 (1)식의 적용을 위해 기선의 등분 수  $n$ 은 짝수개로 하였으며, 곡선이 연속되지 않은 개소가 있을 때는 그 점에서 도형을 둘로 나누어 각각 달리 면적을 구하였다.

수치해석

가두리 그물과 그 하부의 발들에 작용하는 항력은 조류의 속도에 의해 바뀌게 되며, 이것은 가두리 그물 내 용적 변화에 영향을 미친다. 일반적으로 발들이 부착된 가두리 그물에 작용하는 힘은 흐름 방향과 평행하게 작용하는 항력 성분과 수직 방향으로 작용하는 양력 성분으로 나눌 수 있는데, 이 힘들에 의하여 가두리 그물의 형상이 다르게 나타난다. 다만, 흐름에 의한 가두리 그물 및 발들에 작용하는 양력이 항력에 비해 작은 경우에는 양력을 무시할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 흐름의 조상 및 조하측에 위치한 가두리 그물의 패널에만 항력이 작용하고 측면 그물 패널에는 그 영향이 없다고 간주하였으며, 가두리 그물의 수중 무게는 고려하지 않았다. 한편, Lader and Enerhaug(2005)는 유속에 관한 가두리 그물의 변형에 대한 수치 해석 시 모형실험을 통해 구한 항력 및 양력 계수를 사용하였으나, 본 연구에서는 이와 같은 저항 계수의 값들을 집중 정수계로 간주하여 유속의 함수형 즉, 흐름 방향에 영향을 받는 조상 및 조하측 가두리 그물 패널 사이의 저항력을 유체의 유동력으로 계산될 수 있도록 운동 방정식을 유도하였다. 따라서 본 연구에서는 모형 가두리 그물의 하부 힘줄에 부착된 발들의 경우 줄 끝에 달린 질량으로 표현하고 조상 및 조하측에 있는 모형 가두리 그물 패널 사이의 유동력은 탄성체로 간주하였으며, 모형 그물에 작용하는 힘은 모두 흐름 방향에 수직으로 위치한 패널에 작용한다는 가정 하에 모델링식을 도입하였다. 이와 같

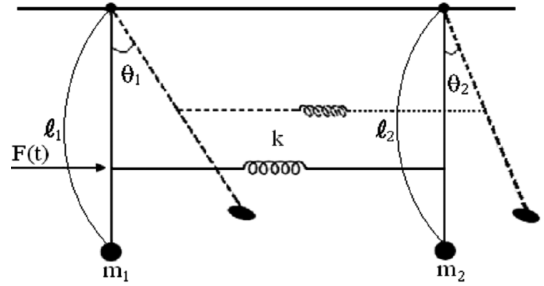


Fig. 6. Equivalent model of model net and sinkers used in the simulation.

은 조건들을 감안하여 나타난 모형 가두리 그물과 발들의 등가 모델은 Fig. 6과 같다.

일반적으로 무게가 없는 줄 끝에 달린 질량체 ( $m$ )의 움직임을 극좌표계로 표현하면 질량체가 흔들리는 각( $\theta$ )으로 표현할 수 있으며, 이것을 발들의 관성력( $J$ )과 수직력( $T$ )으로써 운동 방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$J\ddot{\theta} = T \quad (2)$$

여기서,  $J = ml^2$ ,  $T = -mgl\sin\theta$ ,  $l$ 은 발들이 달려 있는 줄의 길이이고,  $g$ 는 중력 가속도이다.

(2)식을 이용하여 모형 가두리 그물의 등가 모델에 적용하여 표현하면,

$$m_1 l_1 \ddot{\theta}_1 = -k \left( \frac{l_1}{2} \right)^2 (\theta_1 - \theta_2) - m_1 g l_1 \sin\theta_1 + \left( \frac{l_1}{2} \right) F(t) \quad (3)$$

$$m_2 l_2 \ddot{\theta}_2 = -k \left( \frac{l_2}{2} \right)^2 (\theta_2 - \theta_1) - m_2 g l_2 \sin\theta_2 \quad (4)$$

가 된다. 이 경우, (3)과 (4)식은 흐름 방향에 수직으로 놓여 있는 조상 및 조하측 모형 가두리 그물 패널에 작용하는 운동 방정식이다.

또한, 모형 가두리 그물에 작용하는 힘은 조하측 그물 패널과 발들에 작용하는 힘으로 표시할 수 있으므로,

$$F(t) = F_n + C_d A \rho_{water} \frac{v_{water}^2}{2} \quad (5)$$

**Table 3. Drag forces used in the simulation**

Flow velocity(m/s)	$F_n$ (kg)
0.1	0.3487
0.2	1.3952
0.3	3.1393
0.4	6.7199
0.5	8.7205

로 나타낼 수 있다. (5)식의 우변 첫 번째 항  $F_n$ 은 모형 가두리 그물에 작용하는 유수저항이며, 본 연구에서는 Table 3과 같이 나일론 랫셀 그물감을 대상으로 실험에서 구한 값을 사용하였다.

한편 모형 조상 및 조하측 가두리 그물 패널 사이의 저항은 유체 운동량의 변화로 표시할 수 있으므로 등가 탄성체로 간주하여 아래의 식으로 변환할 수 있다.

$$k = u_{w-1,4} \cdot \rho A_{net} v_{water}^2 \quad (6)$$

(6)식에 사용된 보정 계수  $u$ 는 수치해석을 통하여 시행착오적으로 조정하면서 최적의 값을 선택하여 구하였으며, 그 결과 수치해석에서는 아래의 함수로 표현된 것을 이용하였다.

$$u_{w-1,4} = 0.01167v_{water}^3 + 0.09614v_{water}^2 - 0.47352v_{water} + 0.4823 \quad (7)$$

또한 수치해석에 사용된 주요 계수들은 Table 4에 나타내었다.

수치해석에서는 먼저 유속에 대한 가두리 그물이 설치되지 않은 발돌만의 날림 각도를 구하여 발돌의 동역학적 특성을 파악하였다. 그리고 나일론 랫셀 그물감으로 구성된 가두리 그물에

**Table 4. Parameters used in the simulation**

Parameters	Values	
	W-1	W-4
$C_d$	0.5	0.67
$A_{ball, egg}$	$0.0004227m^2 \times 4$	$0.0004099m^2 \times 4$
$A_{net}$	$0.25m^2$	$0.25m^2$
$m_{1,2}$	$0.043575kg \times 4$	$0.043575kg \times 4$
$l_{1,2}$	0.53m	0.53m
$\rho_{water}$	$1,020kg/m^3$	$1,020kg/m^3$
$g$	$9.8m/s^2$	$9.8m/s^2$

가장 일반적으로 사용되는 구형 발돌(W-1)과 본 연구에서 제안한 계란형 발돌(W-4)이 부착된 경우 유속에 대한 조상 및 조하측 가두리 그물의 날림 각도인  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 를 구하였다. 수치해석은 Runge-Kutta 4계의 수치 적분 방법(Steven and Raymond, 1998)을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 모형 가두리 그물의 단면 형상 변화

실제 해상에 부설된 가두리 그물은 해·조류의 영향으로 인하여 그물의 날림에 따른 변형이 발생되고, 그로 인해 용적이 감소되는데, 이와 같은 현상은 Fig. 7과 Fig. 8에서와 같이 유속이 빨라짐에 따라 더욱 뚜렷하게 나타난다. 먼저, Fig. 7과 Fig. 8은 각각 나일론 랫셀 그물감과 나일론 막매듭 그물감으로 구성된 모형 가두리 그물에 W-1, W-2, W-3, W-4 및 W-5의 발돌을 그물 하부의 힘줄에 번갈아 부착한 상태에서 유속을 0.0m/s에서 0.5m/s까지 0.1m/s의 간격으로 증가시켰을 때 흐름에 의한 그물의 날림 현상을 디지털 카메라로 촬영한 것이다.

모형 가두리 그물의 단면적은 최대  $0.25m^2$ 이지만, 수중에 부설된 모형 가두리 그물의 형상은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 처지거나 변형이 발생하여 사각형을 이루지 못하기 때문에 정조시에도 최대 단면적인  $0.25m^2$ 보다 작아지며, 흐름이 작용하면 가두리 그물이 후방으로 날리고 유속이 증가함에 따라 그 정도가 심해지기 때문에 그물의 단면적은 급격히 감소하게 된다.

모형 가두리 그물의 단면 형상 변화 사진은 Fig. 7과 Fig. 8에서 나타낸 바와 같이 부착한 발돌의 종류에 따라 약간씩 달라지기는 하나 전체적으로 유속이 증가함에 따라 그물의 날림 정도가 급격하게 증가하였고, 특히 유속이 0.1m/s일 때부터 그물의 날림은 더욱 심하였다. 한편, 발돌의 형상별 흐름에 대한 모형 가두리 그물의 날림 현상은 5종류의 발돌 중에서 철봉 프레임형이 가장 작았다.



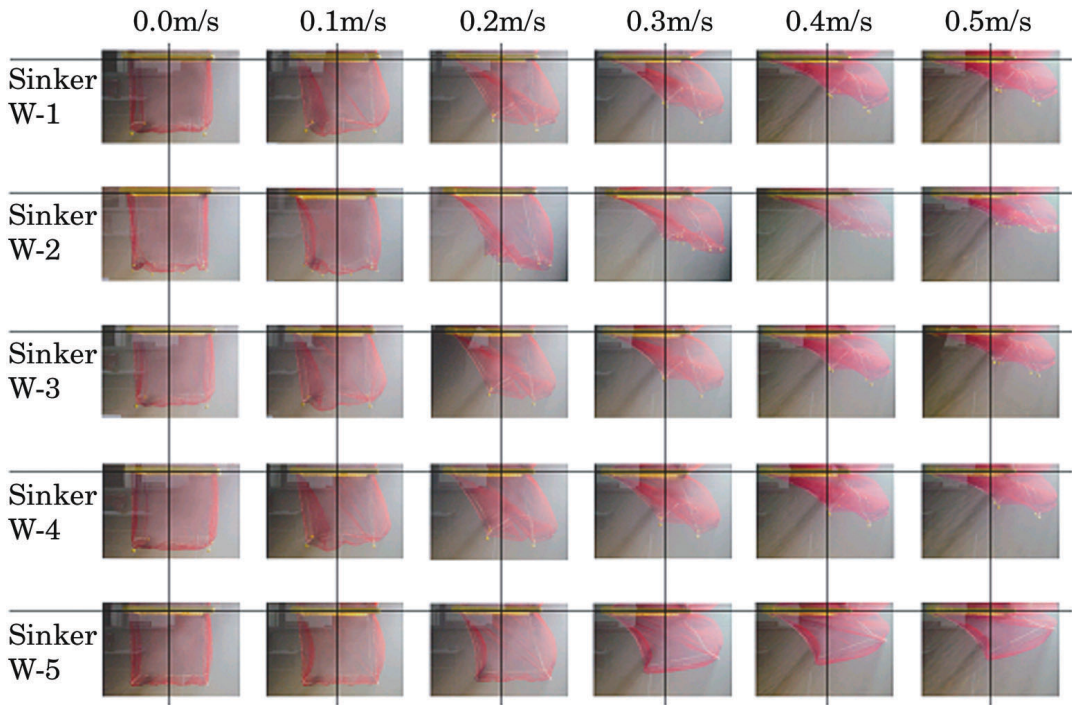


Fig. 7. Deformation of the model nets made of Nylon Raschel netting in various sinkers according to flow velocity.

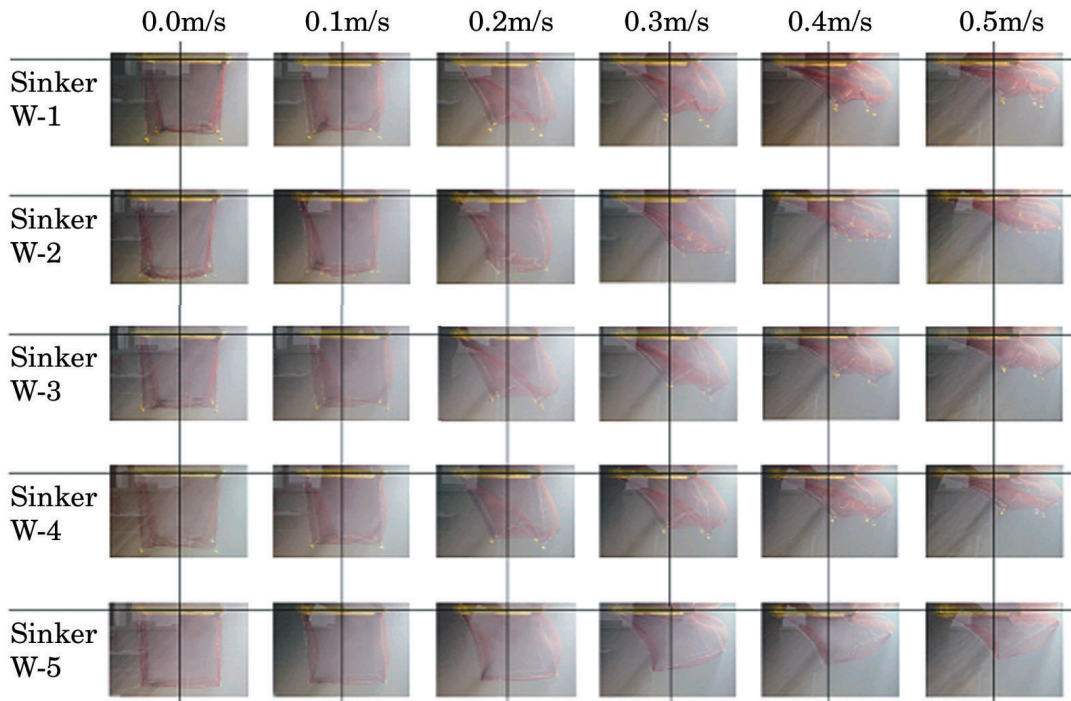


Fig. 8. Deformation of the model nets made of Nylon knotted netting in various sinkers according to flow velocity.



모형 가두리 그물의 날림 각도 변화량

유속에 대한 조상측 모형 가두리 그물 패널의 날림 각도 변화량( $\theta_1 - \theta_0$ )은 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 최대 65° 이었고, 특히, 유속이 0.1m/s에서부터 0.4m/s로 증가할 때 날림 각도의 변화량이 가장 컸으며, 그 이상 유속이 증가함에 따라 날림 각도의 변화량은 점차 줄어들었다.

유속이 0.5m/s일 때 발들의 배치 방법에 따른 그물 날림 각도의 변화량은 구형의 발들(W-1)을 4곳의 모서리에 배치하는 경우보다 구형의 발들(W-2)을 12개 분산 배치하는 경우가 흐름에 대한 날림 각도의 변화량이 더 컸다.

또한, 실험 유속이 0.3m/s보다 작을 때에는 구형의 발들(W-2)을 분산 배치했을 때보다 구형의 발들(W-1)을 4곳의 모서리에 배치했을 때 날림 각도의 변화량은 더 컸다. 즉, 유속이 비교적 느릴 때에는 발들을 분산 배치하는 것이, 유속이 비교적 빠를 때에는 발들을 집중 배치하는 것이 그물의 날림을 방지하는 데 보다 효과적인 것으로 나타났다.

발들의 형상만으로 보았을 때 원형과 유선형의 발들이 그물의 날림 방지 측면에서 우수하며, 철봉 프레임형은 5종류의 발들 중에서도 가장

우수하나 유수저항이 클 뿐만 아니라 망갈이 작업의 불편성 등을 감안할 할 때 발들의 적정 형태로는 부적합한 것으로 판단된다.

그물감의 종류별 모형 가두리 그물의 날림 각도 변화량은 매듭이 없는 나일론 랏셀 그물감으로 구성된 그물에 비하여 매듭이 있는 나일론 막매듭 그물 그물감으로 구성된 그물이 6% 정도로 다소 큰 경향을 보였다. 따라서 가두리 양식용 그물감의 경우 매듭 없는 그물감으로 제작되는 것이 날림 방지 측면에서 보다 적합하다고 생각된다. 그러나 본 연구에서는 발들의 크기가 실물에 비해 매우 작은 모형을 사용하였기 때문에 발들의 형상에 따른 가두리 그물의 날림 현상을 정확하게 규명하는 것은 어렵다. 따라서 이 연구 결과를 실제 가두리 그물에 적용하기 위해서는 금후 현장 실험을 통한 보완이 요구된다.

한편, 모형실험 결과의 유효성을 검증하기 위해 본 연구에서 대상으로 한 5가지 형태의 발들 중 구형 발들과 계란형 발들을 대상으로 수치해석을 실시하여 유속에 대한 발들만의 날림 각도 변화량과 발들이 부착된 모형 가두리 그물의 그것을 구한 후 모형실험 결과와 비교하였다.

먼저 모형 가두리 그물이 설치되지 않고 오직

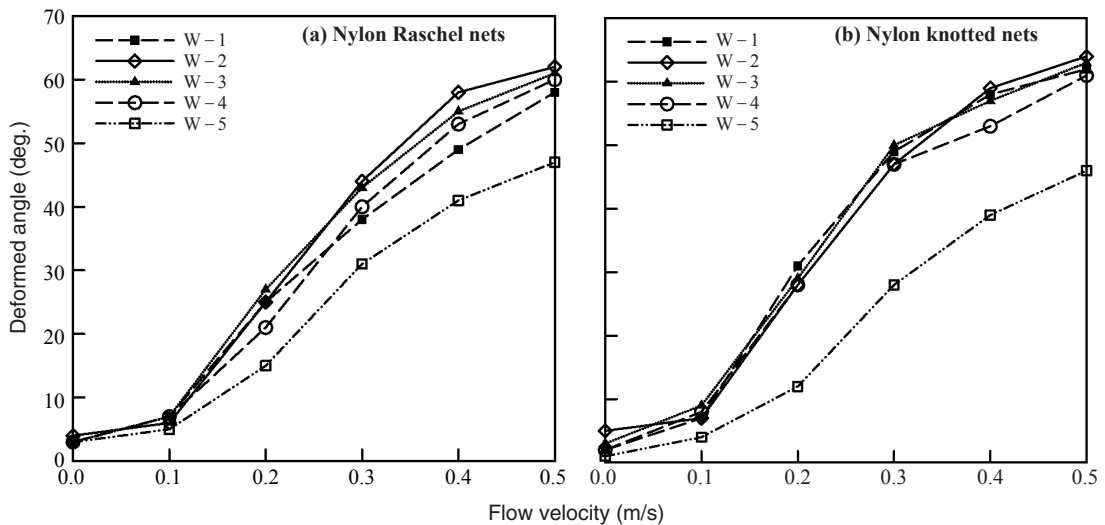


Fig. 9. Relationship between the deformed angle of model nets in the upstream and flow velocity in various sinkers.

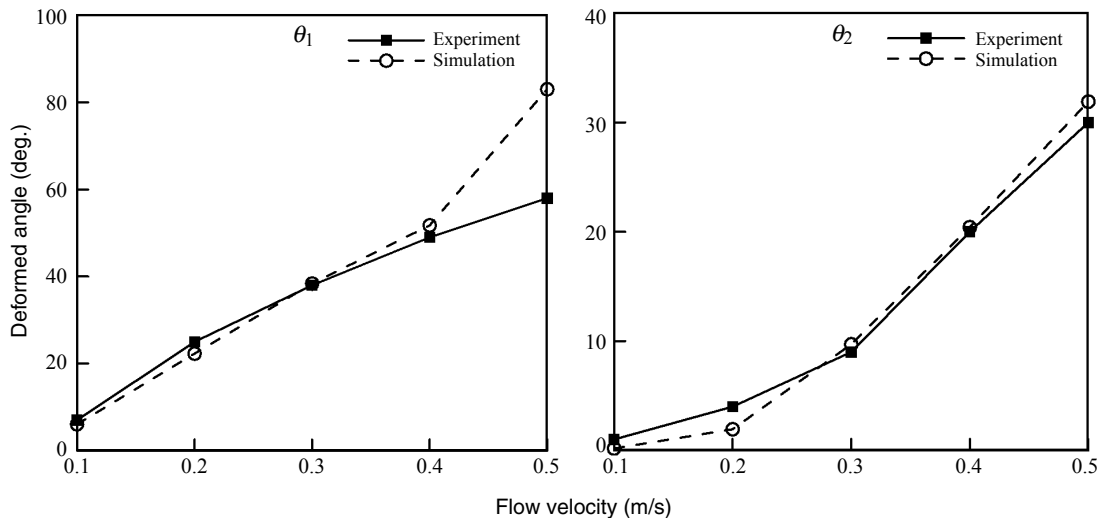
발들 만 달려 있는 상태에서 유속에 따른 구형 발들(W-1)과 계란형 발들(W-4)에 대한 모형 실험과 수치해석의 결과는 Table 5와 같다. 이것에서 보면, 유속의 변화에 따라 실험 및 수치해석 결과 값이 매우 유사하게 나타난 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 모델식의 유효성을 확인할 수가 있다. 다만, 계란형 발들의 경우 그것의 단면적이 흐름 특성에 영향을 받기 때문에, 저속에서는 최대 면적으로, 고속에서는 반대로 최소 면적으로 힘을 받는다고 유추해 볼 수 있다. 이것은 흐름이 정상 상태일 경우, 유선의 영향이 계란형 발들의 표면적에 작용하여 압력 불균형이 발생되고, 이로 인해 유속이 빨라

질수록 유동 방향과 계란형 발들의 장(長)방향이 서로 평행하게 유지하려는 힘이 발생되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 계란형 발들은 조류가 비교적 빠른 해역에 설치되는 가두리 그물용 발들에 적합한 것으로 판단된다.

나일론 랏셀 그물감으로 제작한 모형 가두리 그물에 구형 발들(W-1)과 계란형(W-4) 발들을 부착한 상태에서 유속에 대한 조상 및 조하측 모형 가두리 그물의 날림 각도 변화량은 Fig. 10과 Fig. 11에 나타난 바와 같이 수치해석과 모형 실험의 결과가 유사하게 나타난 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 그물 사이의 저항력을 유체의 운동량 변화로 표현한 (6)식을 이용하

**Table 5. Angle of sinker W-1 and W-4 without model net according to flow velocity as determined by experiment and simulation**

Flow velocity (m/s)	W - 1		Experiment (deg.)	W - 4		
	Experiment (deg.)	Simulation (deg.)		Simulation(deg.)		
				min. $A_{egg}$	ave. $A_{egg}$	max. $A_{egg}$
0.1	1	0.2734	0.5	0.2722	0.3553	0.4383
0.2	1.5	1.0938	2.5	1.0892	1.4216	1.7540
0.3	2	2.4623	3.5	2.4521	3.2013	3.9517
0.4	4.5	4.3833	4.5	4.3650	5.7042	7.0496
0.5	6.5	6.8685	6	6.8396	8.9561	11.0977



**Fig. 10. Deformed angle of model net made of Nylon Raschel netting and flow velocity in sinker W-1.**

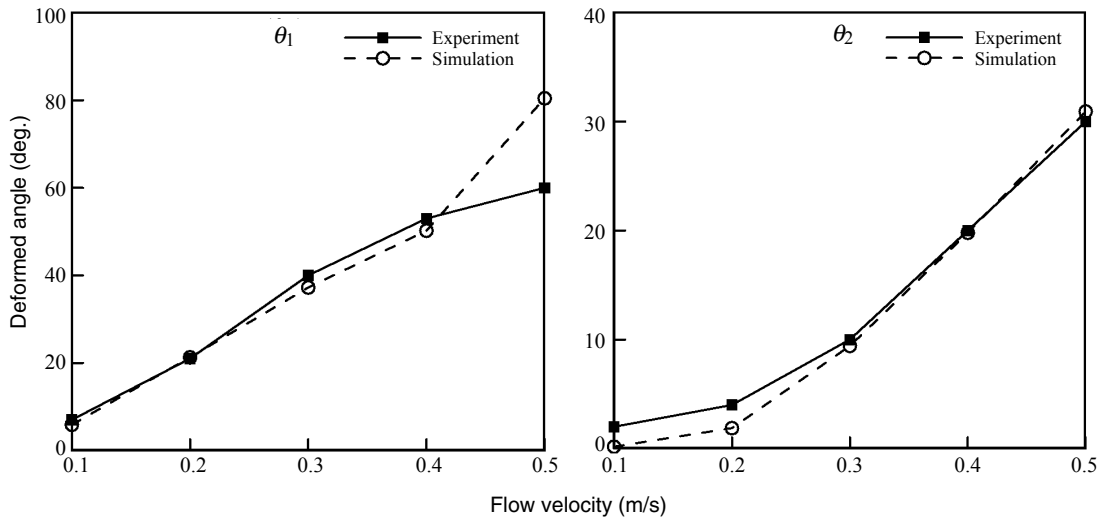


Fig. 11. Deformed angle of model net made of Nylon Raschel netting and flow velocity in sinker W-4.

여 간단하게 모델링해도 흐름에 대한 가두리 그물의 날림 특성을 충분히 계산할 수 있음을 확인할 수 있다. 다만, 유속이 0.5m/s일 경우 조상측 모형 가두리 그물 패널의 날림 각도는 수치해석과 모형실험 결과에서 매우 큰 차이가 나타났는데, 이것은 유속이 빠르면 흐름 방향과 평행한 위치에 있는 모형 가두리 그물의 측면 패널 질량이 흐름의 수직 방향으로 작용되기 때문이라고 생각된다. 따라서 보다 정확한 수치해석 결과를 도출하기 위해서는 측면 그물감의 질량 등 동특성을 고려한 모델화 과정이 필요할 것으로 생각된다.

이상에서와 같이 본 연구에서는 Lader and Enerhaug(2005)가 제시한 흐름에 대한 가두리 그물 자체의 동특성을 간단히 유체의 탄성력으로만 간주하고 흐름에 대한 발들의 동적 움직임에 대한 미분 방정식을 수립하여 모델링 하더라도 발들이 부착된 가두리 그물의 날림 각도 변화량을 쉽게 구할 수 있는 것을 확인하였다.

#### 모형 가두리 그물의 단면적 변화

Fig. 12는 2종류의 모형 가두리 그물에 대해 5종류의 발들별 유속의 증가에 따른 단면적의 변화를 나타낸 것으로, 유속이 빨라짐에 따라 그물

이 조하측으로 날리게 되어 그물의 단면적도 작아졌다.

나일론 랏셀 그물감으로 구성된 모형 가두리 그물에 W-1, W-2, W-3, W-4 및 W-5의 발들을 각각 부착한 경우 모형 가두리 그물의 단면적은 유속이 0.5m/s일 때에는 유속이 0.0m/s일 때에 비해 각각 43.1%, 40.9%, 46.4%, 46.7% 및 52.7%로 매우 크게 감소하였으며, 발들의 종류별 유속에 따른 그물의 단면적 감소는 2가지 그물감 모두 철봉 프레임형 발들 W-5에서 가장 작았다. 또한, 나일론 막대들 그물감으로 구성된 모형 가두리 그물에서는 프레임형인 W-5 발들을 제외한 모든 발들에서 유속이 0.1m/s일 때까지 단면적이 완만하게 감소하였지만, 그 이후부터 0.4m/s일 때까지는 계란형인 W-4 발들과, 프레임형인 W-5 발들을 제외하고는 급격히 감소하는 경향이였다. 위의 2가지 발들을 제외한 나머지 W-1 발들과 W-2 발들 및 W-3 발들은 유속이 0.1m/s에서부터 0.4m/s까지는 단면적의 비율이 각각 7%, 7% 및 9%에서 58%, 59% 및 57%까지 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 0.4m/s에서부터 0.5m/s까지는 단면적 변화율의 차가 각각 4%, 5% 및 6%로 다소 감소하는 경향

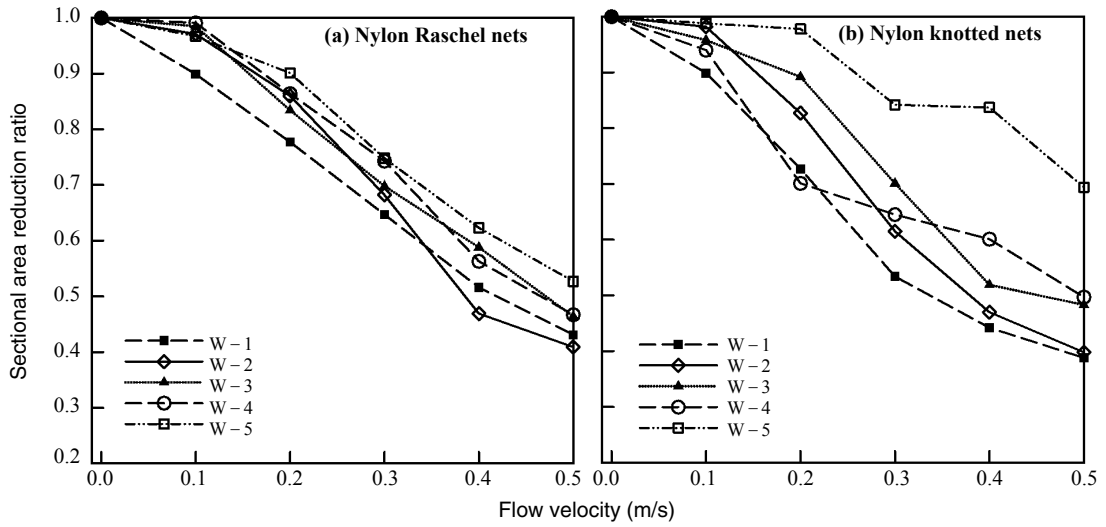


Fig. 12. Sectional area reduction ratio of the model nets with various sinkers as a function of flow velocity.

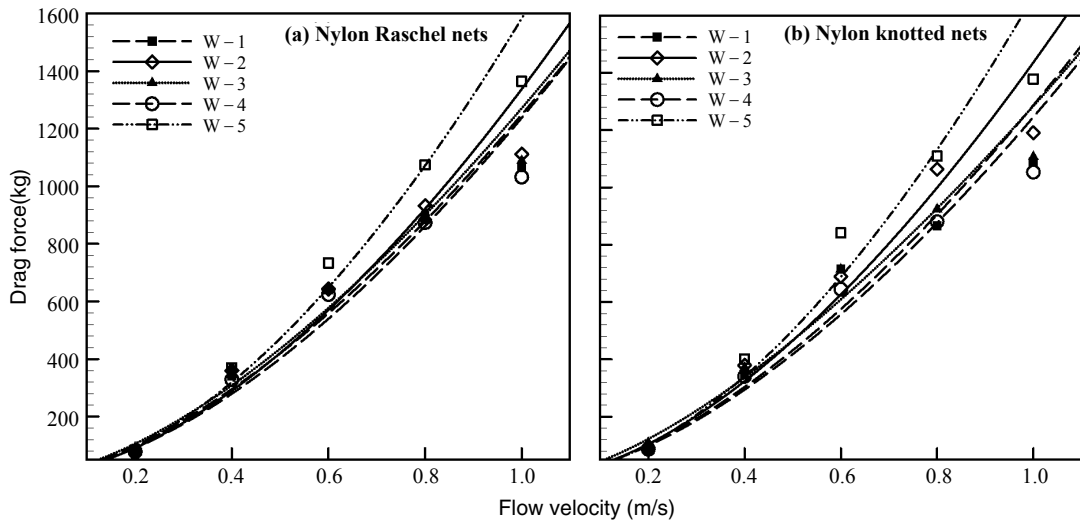


Fig. 13. Relationship between the drag force of model nets and flow velocity in various sinkers.

이었다.

한편, Aarsnes et al.(1990)의 연구 결과에 의하면 용적이 12,000m<sup>3</sup>인 가두리 그물에 전체 중량이 102kg인 발들을 부착한 경우 유속이 0.25m/s일 때에는 그물의 용적이 40% 감소하였고, 유속이 0.5m/s 및 1.0m/s일 때에는 각각 72%와 91% 만큼

감소하였으며, 408.2kg의 발들을 부착한 경우에는 유속이 0.5m/s 및 1.0m/s일 때 그물의 용적이 초기에 비해 각각 45%와 80%만큼 감소하였다.

이상과 같이 조류에 의해 가두리 그물의 단면적이 감소하면 어류의 성장에 있어 제한 요소인 사육 밀도가 증가하게 되어 어류에 대한 스트레

스 지수가 높아지게 되므로 그물의 용적 감소를 방지하기 위해서는 발들의 무게를 적정의 것으로 결정하는 것이 매우 중요하다.

### 실물 그물의 우수저항 변화

실제 어장에 부설된 가두리 그물은 지속적으로 흐름의 영향을 받아 변형되고 그로 인해 그물에 작용하는 우수저항은 커지게 된다. Fig. 13은 유속이 빨라짐에 따라 나일론 랫셀 그물감과 나일론 막매듭 그물감으로 구성된 모형 가두리 그물의 우수저항 측정치를 실물로 환산하여 나타낸 것이다. 실물로 환산한 유속이 1.0m/s에서 나일론 랫셀 그물감으로 구성된 모형 그물의 실물 환산 우수저항은 철봉 프레임 형태로 구성된 발들 W-5형이 1,364.7kg으로 가장 컸고, 구형의 발들 W-2형이 그 다음으로써 1,111.9kg이었으며, 원주형 발들 W-3형은 1,089.6kg, 구형의 발들 W-1형은 1,064.4kg, 계란형의 발들 W-4형은 1,032.2kg이었다. 한편, 나일론 막매듭 그물감에서도 같은 순서로 우수저항 값이 측정되었고, 철봉 프레임형 발들 W-5형에서 우수저항 값이 1,378.6kg으로 최대치로 나타났는데, 이것은 나일론 랫셀 그물감의 그것보다 13.9kg 더 컸다. 즉, 매듭의 유무에 따른 우수저항의 차이를 보면 매듭이 없는 나일론 랫셀 그물감보다, 매듭이 있는 나일론 막매듭 그물감에서 우수저항이 5% 정도 약간 크게 측정되었다. 그 이유는 각각의 그물코에 있는 매듭들이 유체와 접촉하는 면적을 증대시켜 그물감의 점유 면적이 증가하고 여과율이 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

### 결 론

본 연구에서는 가두리 그물의 날림 현상을 줄일 목적으로 사용하는 발들을 각각 형상이 서로 다른 5가지 종류[공기중 무게 50g인 구형(W-1), 16.7g인 구형(W-2), 50g인 원주형(W-3), 50g인 계란형(W-4) 및 200g인 철봉 프레임형(W-5)]로 제작하고, 현용 가두리 그물 2종(나일

론 랫셀 그물감 및 나일론 막매듭 그물감)을 1/20의 크기로 축소하여 회류 수조에서 모형실험을 실시하였다. 실험 결과, 모형 가두리 그물의 단면 현상 변화는 부착한 발들의 종류에 따라 약간씩 달라지기는 하나 전체적으로 유속이 빨라짐에 따라 그물의 날림 정도가 더욱 심해지는 경향이고, 특히 유속이 0.1m/s 이상에서부터 이와 같은 현상이 현저하게 나타났다. 또한 발들의 형상별 모형 그물의 날림은 5가지 종류의 발들 중에서 철봉 프레임형 발들을 부착했을 때가 가장 작게 나타났다. 그러나 철봉 프레임형은 5가지 종류의 발들 중에서도 우수저항이 가장 크게 나타났을 뿐만 아니라, 망갈이 작업의 불편성 등을 감안할 때 발들의 적정 형태로는 부적합한 것으로 판단된다. 따라서 발들의 형상만으로 보았을 때 구형과 계란형의 발들이 가두리 그물의 날림 방지 면에서 가장 우수하다고 생각되나, 금후 현장 실험을 통한 검증이 요구된다. 또한 가두리 그물 사이의 저항력을 유체의 운동량 변화로 표현한 운동 방정식을 이용하여 나일론 랫셀 그물감으로 제작한 모형 가두리 그물에 구형 발들과 계란형 발들을 부착한 상태에서 유속에 대한 조상 및 조하측 모형 가두리 그물의 날림 각도 변화량에 대해 모델링을 수행해 본 결과, 수치해석과 모형실험의 결과가 유사하게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 한편, 나일론 랫셀 그물감으로 구성된 모형 가두리 그물에 W-1, W-2, W-3, W-4 및 W-5의 발들을 부착한 경우 모형 가두리 그물의 단면적은 유속이 0.5m/s일 때에는 유속이 0.0m/s일 때에 비해 각각 43.1%, 40.9%, 46.4%, 46.7% 및 52.7%로 매우 크게 감소하였다. 발들의 배치 방법에 따른 그물 날림 각도의 변화량을 보면, 유속이 비교적 느릴 때에는 발들을 분산 배치하는 경우가 그물 날림 방지 면에서 우수하며, 유속이 비교적 빠를 때에는 발들을 집중 배치하는 것이 우수하게 나타났다. 그리고 그물감의 종류별 날림 각도의 변화량은 매듭이 없는 나일론 랫셀 그물감으로 구성된 그물에

비해 매듭이 있는 나일론 막매듭 그물감으로 구성된 그물이 다소 크게 나타나서 매듭이 없는 그물감으로 가두리 양식용 그물을 제작하는 것이 가두리 그물의 날림 방지 측면에서 보다 적합하다고 사료된다.

### 참고문헌

- Aarsnes, J.V., H. Rudi, and G. Løland, 1990. Current forces on cage, net deflection. Engineering for offshore fish farming. Thomas telford, London, pp. 137 – 152.
- Beveridge, M., 1996. Cage aquaculture third edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, pp. 58 – 61.
- Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, 1978. Studies on offshore area exploitation aquaculture technology development and practical use. 25 – 51.
- Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, 1980. Studies on offshore area exploitation aquaculture technology development and practical use. 1 – 27.
- Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center, 1982. Studies on offshore area exploitation aquaculture technology development and practical use. 1 – 27.
- Kim, J.O., T.H. Kim, H.K. Oh and E.C. Jeong, 1998. Study on the hydrodynamic resistance model fish cage by the velocity of flow. Bulletin of National Fisheries Research and Development Agency, 54, 141 – 147.
- Kim, T.H., J.O. Kim and D.A. Kim, 2001. Deformation of cage nets against flow velocity and optimal design weight of sinker. J. Korean Fish. Soc., 37(1), 45 – 51.
- Lader P.F. and B. Enerhaug, 2005. Experimental investigation of forces and geometry of a net cage in uniform flow. IEEE Journal of Oceananic Engineering, 30(1), 1 – 6.
- Lee, M.K. and C.W. Lee, 2004. Dynamic analysis of a cage affected by the current. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 40(3), 214 – 224.
- Løland, G., 1991. Current forces on and flow through fish farms, Ph. D. Thesis. Division of Marine Hydrodynamics. The Norwegian Institute of Technology, pp. 155.
- Nagamatsu, K., H. Nishinokubi and K. Nakasai, 1986. The mechanical characteristics of a netting store pot. Bulletin of the Faculty of the Fisheries, Nagasaki University, 59, 1 – 10.
- Osawa, Y., Y. Tawara and H. Taketomi, 1984. Studies on behaviour of fish cage against flow of water I – On drag of fish cages –. Bulletin of National Research Institute of Fisheries Engineering, 2, 1 – 12.
- Steven, C.C and P.C. Raymond, 1988. Numerical methods for engineers, McGraw – Hill, 663 – 674.
- Tauti, M., 1934. A relation between experiments on model and full scale of net. Bull. Japan Soc. Sci. Fish., 3(4), 171 – 177.

---

2007년 1월 29일 접수

2007년 7월 25일 수리