

건착망의 침강 특성 해석

— 그물감과 발돌량의 영향 —

김 석 종
제주대학교 어업학과

An Analysis on the Sinking Characteristics of Model Purse Seine — On the Effect of Netting and Sinkers —

Suk-Jong Kim

Department of Fishery, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea

This study deals with an analysis on the behaviour characteristics of sinking for the model purse seine, effect of netting and sinkers. The experiment was carried out using nine simplified model seines of knotless nettings. Dimension of model seines 420 cm for corkline and 85 cm for seine depth, three groups of models rigged 25, 45 and 60g with the same weighted sinkers in water were used. These were named PP-25, PA-25, PES-25, PP-45, PA-45, PES-45, PP-60, PA-60 and PES-60 seine. The densities (ρ) of netting materials were 0.91 g/cm^3 , 1.14 g/cm^3 and 1.38 g/cm^3 .

Experiments carried out in the observation channel in a flume tank under still water conditions. Sinking motion was recorded by the one set of TV-camera for VTR, and reading coordinate carried out by the video digitization system.

Differential equations were derived from the conservation of momenta of the model seines and used to determine the sinking speeds of the depths of leadline and the other portions of seines.

An analysis carried out by simultaneous differential equations for numerical method by sub-routine Runge-Kutta-Gill.

The results obtained were as follows :

- 1) Average sinking speed of leadline for the model seines rigged 60g with the same weighted sinkers in water was fastest for 12.2 cm/s of PES seine, followed by 11.4 cm/s of PA and 10.7 cm/s of PP seines.
- 2) The coefficient of resistance for netting of seine was estimated to be $K_D = 0.09 \left(\frac{\rho}{\rho_w} \right)^4$.
- 3) The coefficient of resistance for netting bundle of seine was estimated to be $C_R = 0.91 \left(\frac{\rho}{\rho_w} \right)$.
- 4) In all seines, the calculated depths of leadline closely agreed with the measured ones, each 25 g, 45 g, 60 g of weighted sinkers were put into formulas $meas. = 1.04 cal.$, $meas. = 0.99 cal.$ and $meas. = 0.98 cal.$

Key words : sinking characteristics, knotless netting, same weighted sinker, simultaneous differential equation, purse seine

서 론

한국 건착망 어업은 제주도 주변 해역을 중심으로 對馬島근해와 東支那海에서 고등어, 정어리를

주어획대상으로 조업하고 있는데, 1983년 이후 연간 거의 30만톤 이상의 어획 생산고를 나타내는 중요한 어업이다 (박, 1989). 건착망은 다른 운용 어구에 비해 그물 모양은 단조로우나 그물감의 분

량은 대단히 많다. 따라서, 그물감의 종류에 따른 어구 특성의 차이를 구명하는 것은 그물 어구 설계에 있어서 매우 중요하다. 특히 그물 아랫자락의 침강속도는 그물감의 유체저항과 수중중량에 관련되므로, 이 관계를 해명하는 것은 어구의 성능향상에 매우 중요한 과제이다 (Konagaya, 1971b).

이러한 문제와 관련한 연구에서, Konagaya (1971a)는 그물코와 밀도가 다른 그물감으로 구성된 건착망 모형을 이용한 실험을 실시하고, 그물 아랫자락의 침강력이 같을 때는, 밀도가 큰 그물감으로 구성된 건착망일수록 침강이 빠르고, 그물감의 총 중량이 일정할 때는 그물 아랫자락에 침강력을 집중하는 것이 효과적이라고 보고하고 있다.

Kim *et al.* (1992) 및 Kim (1993)은 그물감의 재료가 다른 건착망의 침강운동의 차이를 구명한 연구에서 해수보다 작은 밀도의 그물감으로 구성된 건착망의 침강속도가 빠르다는 결과를 보고하였다.

이와 같이, 건착망의 그물 아랫자락의 침강운동에는 그물감의 종류, 아랫자락의 침강력 및 그물 어구의 형상 등이 영향을 준다고 볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 전술한 내용과 관련하여, 건착망의 침강운동에 미치는 그물감의 밀도와 발돌량의 영향을 해명하는 차원에서, 우선 재료의 밀도가 다른 3종류의 그물감을 사용하고 발돌량이 동일한 9종류의 건착망의 단순모형을 제작하여 실험을 실시하였다. 그리고, 정도가 높게 구하여진

실험식을 이용한 수치해석으로 실험결과를 검증함과 동시에, 그물감 및 그물다발의 저항계수등의 결정이 가능하였으므로, 그 결과를 보고한다.

재료 및 방법

건착망 모형어구

실험에 사용한 건착망 모형은, 그물실의 직경이 같고 밀도가 다른 매듭 없는 그물감을 사용하여 제작하였다. Table 1에 나타낸 것과 같이, 폴리프로피렌系 170 데니어 4합사, 폴리아미드系 210 데니어 4합사 및 폴리에스터系 250 데니어 4합사 (그물실의 직경 0.45 mm, 발의 길이 10.5 mm)의 매듭 없는 그물감에서 길이 방향으로 283코, 폭 방향으로 58코의 그물감을 재단하였다. 완성된 뜰줄 및 발줄의 길이는 420 cm, 그물의 폭은 86 cm이고, 주름률은 모두 0.293으로 그물코의 면적이 최대가 되도록 만들었다. 이 3종류의 모형그물에 발돌량을 25 g, 45 g 및 60 g(수중중량)으로 3단계로 바꾸고 9종류의 모형건착망을 제작하여, 발돌의 무게가 25 g일때 PP-25, PA-25 및 PES-25그물, 45 g일때 PP-45, PA-45 및 PES-45그물이라고 하고, 60 g일때 PP-60, PA-60 및 PES-60그물이라고 정하였다 (Table 2). 이 그물들의 뜰줄에 中空型 뜰 170개를 매달아 총부력이 150 g이 되도록 했다 (Table 3).

Table 1. Specification of knotless netting for the model seines

Material	Twine size	Diameter (mm)	Mesh size (mm)	Mesh number			Hanging-in
				corkline	leadline	depth	
Polypropylene	170d/4	0.45	21.0	283	283	58	0.293
Polyamide	210d/4	0.45	21.0	283	283	58	0.293
Polyester	250d/4	0.45	21.0	283	283	58	0.293

Table 2. Specification of the weighted model seines

Seine type	Netting density (g/cm ³)	Weight in water		
		netting (g)	leadline (g)	seine (g)
PP-25 seine	0.91	-5.8	25.0	19.2
PA-25 seine	1.14	9.4	25.0	34.4
PES-25 seine	1.38	24.2	25.0	49.2
PP-45 seine	0.91	-5.8	45.0	39.2
PA-45 seine	1.14	9.4	45.0	54.4
PES-45 seine	1.38	24.2	45.0	69.2
PP-60 seine	0.91	-5.8	60.0	54.2
PA-60 seine	1.14	9.4	60.0	69.4
PES-60 seine	1.38	24.2	60.0	84.2

Table 3. Specification of riggings for the model seines

Items	Material	Diameter (mm)	Shape	Length (cm)	Weight in water per piece (g)	Number (pieces)
Corkline	PE	1.07	twisted	420		3
Leadline	PVA	0.93	twisted	430		2
Breastline	PVA	0.93	twisted	90		4
Sinker	lead	2.70×4.0	ellipsoidal		0.18	
Float	plastic	13.10	spherical	(total buoyancy 150 g)		170

PE : Polyethylene, PVA : Polyvinyl alcohol

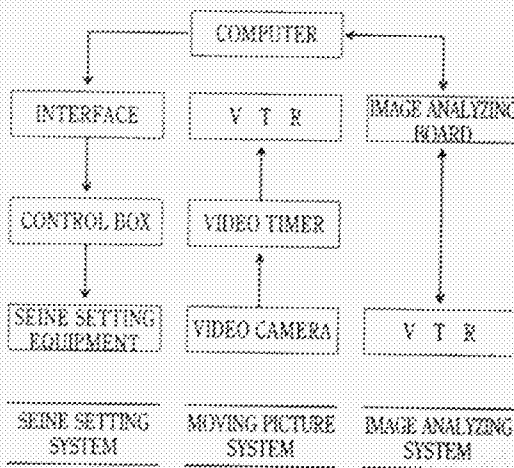


Fig. 1. Block diagram of the equipment for the seine setting system, the moving picture system and the image analyzing system.

실험장치

실험장치의 배치를 Fig. 1에 나타냈다. 실험에 사용한 장치는 투망시스템, 촬영시스템 및 화상처리시스템의 세 종류로 나누어진다.

투망시스템은, 이장치를 움직이게 하는 제어장치의 신호에 따라 투망장치가 정확하게 작동한다. 이 투망시스템은 선의 반경 10~90 cm, 원운동 각도 0°~350°로 조절이 가능하도록 했다. 그리고, 촬영시스템은 비디오 카메라, 비디오 타이머 및 VTR로 구성되고, 화상처리시스템은 VTR, 화상처리보드 및 Computer로 구성되어 있다.

회류수조의 관측부 수로위에 설치한 투망장치의 선회대 끝에 붙어있는 그물 장치대에 그물을 얹고, 선회반경 70 cm, 시점각도 10°, 총점 각도 345°, 투망속도 50 cm/s의 실험조건으로 선회대를 회전

시켜 양지 쪽에서 차례대로 정지수면에 투망하였다. 건학망의 침강상태를 녹화하기 위해서, 수로의 관측부 전면에 비디오 카메라를 설치하였다. 각 그물을 5회씩 투망하고 투망시작부터 그물이 충분히 전개하여 침강할 때까지 촬영 녹화하였다. 촬영한 화상으로부터 경과시간 0.5초 간격으로 그물 각

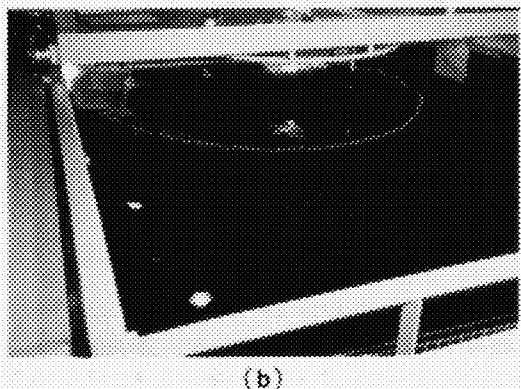
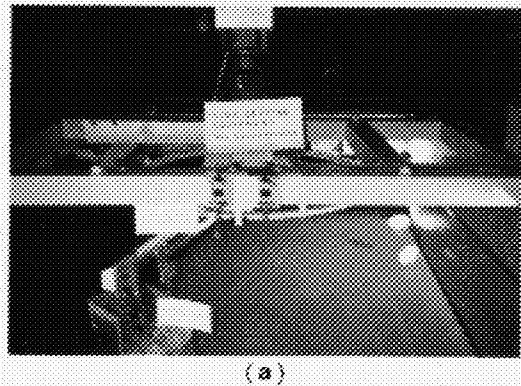


Fig. 2. Apparatus for setting seine.
(a) : Front view
(b) : Rear view

부분의 측정점의 좌표를 읽고, 그것들의 평균치를 실험치로 하였다. 전착망의 투망시작 직전의 모양과 투망 완료 직후의 모양을 Fig. 2에 나타냈다.

이 실험은, 慶尙島大學 수산학부 최유수조 (관측수로 L6 m, B2 m, D1 m)에서 실시하고, 해석은 같은대학 정보처리센터의 계산기 IBM 3081-k를 이용했다.

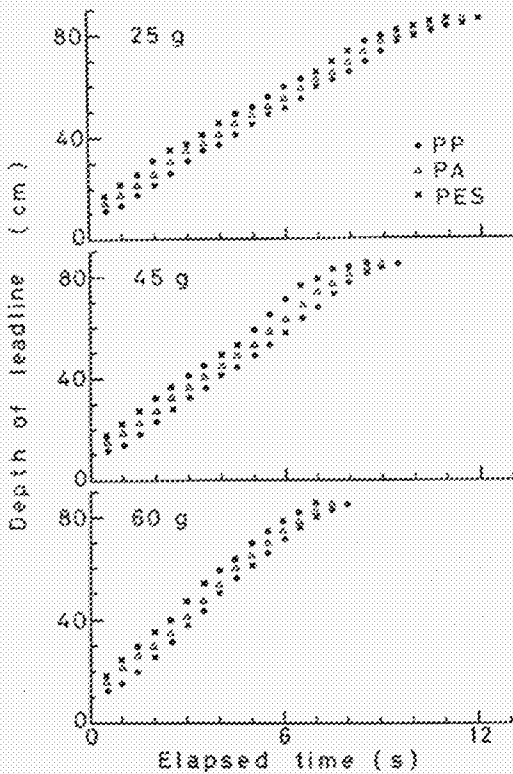


Fig. 3. Relationship between elapsed time (s) and depth of leadline (cm) for the model seines rigged 25, 45 and 60 g with the same weighted sinkers in water.

결과 및 고찰

각 그물에 대해서, 그물 아랫자락의 도달수심을 경과시간 0.5초 간격으로 측정하고, 그 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 경과시간에 따른 그물 아랫자락의 도달수심은 PES그물이 가장 깊게 나타났으며, PA 및 PP그물순으로 얕게 나타났다. 그리고, 각 그물들의 침강속도는 초기에 빠르나 점차적으로 느린

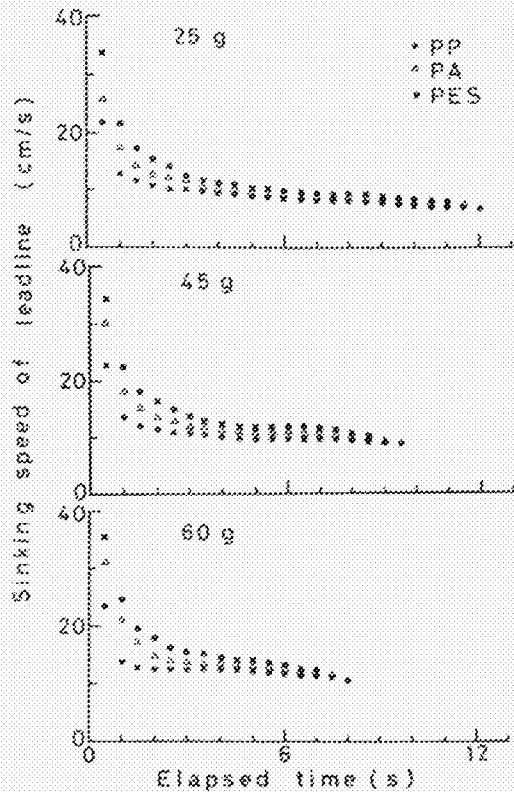


Fig. 4. Relationship between elapsed time (s) and sinking speed of leadline (cm/s) for the model seines rigged 25, 45 and 60 g with the same weighted sinkers in water.

경향이었으며, 밑줄망이 60 g일 때의 평균 침강속도는 PES그물 12.2 cm/s, PA그물 11.4 cm/s이고, PP그물 10.7 cm/s였다 (Fig. 4).

Fig. 5.에 그물의 침강상태를 도식적으로 나타냈다. 해수보다 작은 밀도의 그물감으로 구성된 PP그물은 그물 다발이 항상 수면부근에 있고 그물 아랫자락의 발출에 해당 발출에 작용하는 중력에 의하여 그물이 벽을 만들어 가면서 침강한다 (Fig. 5-a). 해수보다 큰 밀도의 그물감으로 구성된 PES그물은 뜰줄과 발출 사이, 즉 그물 목의 거의 중간부분에 그물다발이 생겨, 이 그물다발을 중심으로 상하 양쪽에서 그물이 벽을 만들어 가면서 침강해 간다 (Fig. 5-b).

여기서, 이와 같은 전착망의 침강특성을 나타낸 실험식 (Kim, 1993)을 이용하여 본 실험의 결과를 해석하였다.

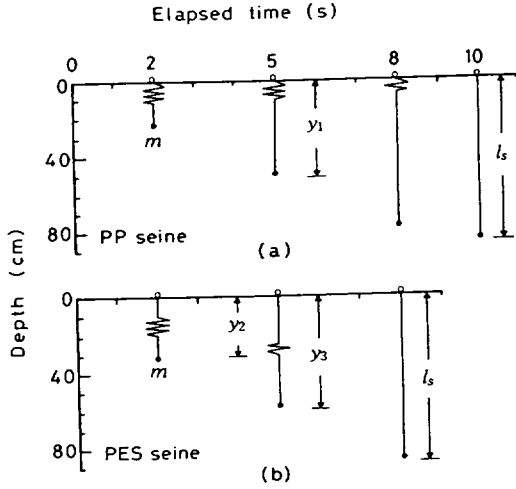


Fig. 5. Schematic drawing of the sinking characteristics of the model seines rigged 45 g with the same weighted sinkers in water.

(a) Polypropylene netting used (PP seine).

(b) Polyester netting used (PES seine).

m : Mass of sinker

y_1, y_3 : Depth from corkline to leadline

y_2 : Depth from corkline to netting bundle

l_s : Seine depth

이때, 그물감의 밀도를 ρ , 해수의 밀도를 ρ_w 라고 한다.

1. $\rho < \rho_w$ 일 때의 침강해석

이때의 전체 운동량은 (1)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_1 = (m + \rho \sigma y_1) \frac{dy_1}{dt} \quad (1)$$

한편, 운동방정식은 (2)식과 같이 된다.

$$\frac{dP_1}{dt} = (m - V_L \rho_w)g + (\rho - \rho_w) \sigma g y_1 - D \left(\frac{dy_1}{dt} \right)^2 - K y_1 \left(\frac{dy_1}{dt} \right) \quad (2)$$

그리고, 발돌의 저항계수 D 의 계산에는 근사식 (3) 식을, 그물감의 저항계수 K 의 계산에는 근사식 (4) 식을 이용하였다.

$$D = \left(\frac{C_D}{2} \right) \rho_w S_L \quad (3)$$

$$K = K_D \left(\frac{\rho}{\rho_w} \right)^q \mu \left(\frac{A}{S_o} \right) \quad (4)$$

계산결과, (4)식의 K_D 값을 0.09, $\frac{\rho}{\rho_w}$ 의 지수 q 를 4로 하면 계산치는, 실험에서 구한 그물 아랫자락의 도달수심과 거의 일치하였다.

2. $\rho > \rho_w$ 일 때의 침강해석

이때, 그물다발의 운동량은 (5)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_2 = \rho \sigma (l_s - y_3) \frac{dy_2}{dt} \quad (5)$$

한편, 그물다발에서 밑부분에 위치한 그물벽의 운동량은 (6)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_3 = \{m + \rho \sigma (y_3 - y_2)\} \frac{dy_3}{dt} \quad (6)$$

Table 4. Parameters in the differential equation for the model seines

Item	Sinker (g)	Parameters		
		PP seine	PA seine	PES seine
ρ (g/cm^3)	25,45,60	0.91	1.14	1.38
σ (cm^2)	25,45,60	1.47×10^{-2}	1.50×10^{-2}	1.54×10^{-2}
V_L (cm^3)	25	5.76×10^{-3}	5.76×10^{-3}	5.76×10^{-3}
	45	10.36×10^{-3}	10.36×10^{-3}	10.36×10^{-3}
	60	13.82×10^{-3}	13.82×10^{-3}	13.82×10^{-3}
W_L (g)	25	5.95×10^{-2}	5.95×10^{-2}	5.95×10^{-2}
	45	10.71×10^{-2}	10.71×10^{-2}	10.71×10^{-2}
	60	14.29×10^{-2}	14.29×10^{-2}	14.29×10^{-2}
S_L (cm^2)	25	3.54×10^{-2}	3.54×10^{-2}	3.54×10^{-2}
	45	6.33×10^{-2}	6.33×10^{-2}	6.33×10^{-2}
	60	8.44×10^{-2}	8.44×10^{-2}	8.44×10^{-2}

ρ : Density of netting, σ : Projected area of netting element, V_L : Volume of sinker, W_L : Weight of sinker in water, S_L : Projected area of sinker

따라서, 그물다발의 운동방정식은 (7)식과 같이되며, 그물다발에서 밑부분의 운동방정식은 (8)식과 같이된다.

$$\frac{dP_2}{dt} = (\rho - \rho_w)(l_3 - y_3) \sigma g - R(l_3 - y_3) \left(\frac{dy_2}{dt}\right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{dP_3}{dt} = (m - V_L \rho_w)g + (\rho - \rho_w) \sigma g (y_3 - y_2) - D \left(\frac{dy_3}{dt}\right)^2 - K(y_3 - y_2) \frac{dy_3}{dt} \quad (8)$$

그리고, 그물다발의 저항계수 R 에는 근사식 (9)식을 이용하여 계산했다.

$$R = \left\{ \frac{C_R}{2} \left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)^p \rho_w l \right\} \quad (9)$$

계산결과, (9)식의 C_R 의 값을 0.91, $\frac{\rho}{\rho_w}$ 의 지수 p 를 1로 하였을 때 계산과 실험은 거의 일치하였다.

실험조건은, 해수의 밀도 $\rho_w : 1.0 \text{ g/cm}^3$, 그물의 전개폭 $l_3 : 86 \text{ cm}$, 중력가속도 $g : 980 \text{ cm/s}^2$, 그물실의 직경 $d : 0.045 \text{ cm}$, 발의 길이 $l : 1.05 \text{ cm}$, 그물감의 길이 방향의 그물 콧수 $i : 283$ 코, 그물감 폭 방향의 그물 콧수 $j : 58$ 코, 점성계수 $\mu : 13.48 \text{ g/cm} \cdot \text{s}$ 로 하였다. 그리고, 계산에 이용한 그물감과 발들에 대한 규격을 Table 4에 나타냈다.

실험식을 구성하는 과정에서 설정한 가정과 부여한 근사치의 적당성을 검토하기 위해, 각 그물에 있어서 경과시간 0.5초마다의 그물 아랫자락의 도달수심에 대해서 실험치(*meas.*)와 미분방정식의 계산치(*cal.*)를 비교하였다. 그 결과, 양자는 일치성이 매우 양호하여 발들량이 25g인 그물에서는 *meas.* = 1.04 *cal.*, 45 g에서는 *meas.* = 0.99 *cal.*였으며, 60 g에서는 *meas.* = 0.98 *cal.*였다 (Fig. 6).

건착망의 침강에 관한 이론적 해석에는 Kona-gaya (1971)의 연구가 있다. 여기서는 $\rho < \rho_w$ 즉, 밀도가 1.14의 그물감으로 구성된 어구에 대한 그물 아랫자락의 침강을 해석하였는데, 건착망에 있어서 선망권의 전 주위가 동시에 침강한다고 보고, 그물 아랫자락에 붙어 있는 발들과 줍고리 및 줍줄 등의 무계에 의해서, 수면에 접혀 있던 그물다발로부터 그물이 전개되면서 가라앉는다고 가정하여 침강운동을 정리 해석하였다.

본 연구에서는 그물감의 밀도가 0.91부터 1.38까지, 즉 $\rho < \rho_w$ 및 $\rho > \rho_w$ 의 범위에서 실험을 실시하여 그물 아랫자락 및 그물다발의 침강특성을 구명함과 동시에 수치해석을 통하여 그물감 및 그물다발의 저항계수등을 결정할 수 있었다.

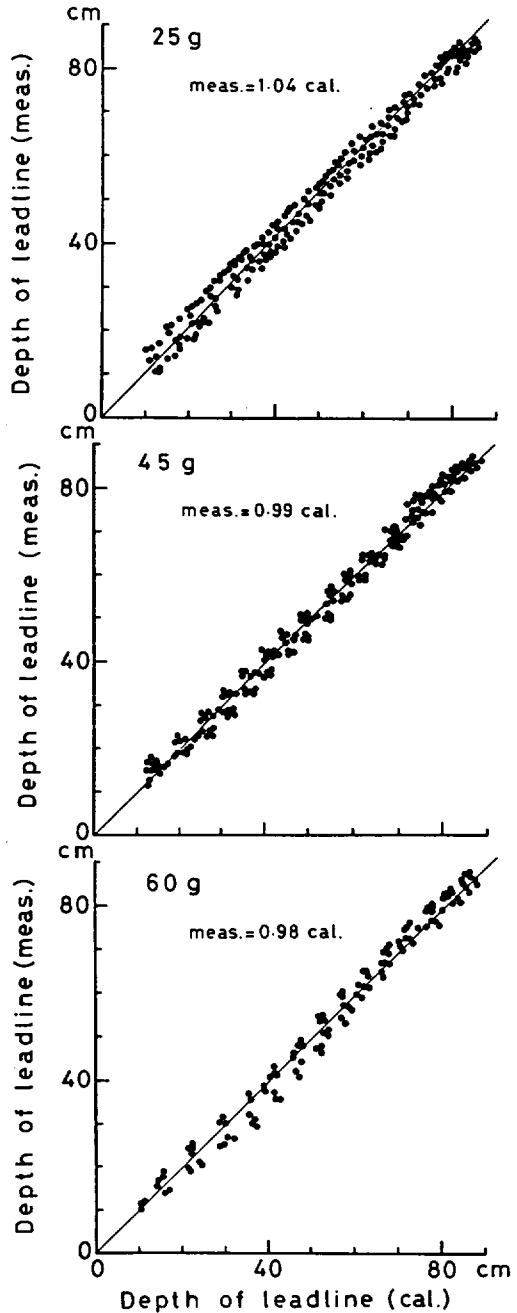


Fig. 6. Relationship between calculated (*cal.*) and measured values (*meas.*) of leadline depth for the model seines with the same sinkers. Calculated values were derived from equation (1), (2), (5), (6), (7) and (8). Solid line shows the regression line.

요 약

건착망의 침강운동특성을 해명하기 위한 기초 연구로서, 그물감의 재료가 다르고 발들량이 동일한 건착망 모형의 침강특성을 해석하였다. 실험에 사용한 건착망은, 그물실의 직경 및 발의 길이가 같은 폴리프로피렌系(밀도 0.91 g/cm^3), 폴리아미드系(밀도 1.14 g/cm^3) 및 폴리에스터系(밀도 1.38 g/cm^3)의 매듭 없는 그물감을 사용하여, 뜰줄의 길이 420 cm , 그물의 폭 86 cm 가 되도록 제작하였다. 이 그물들의 발줄에 발들을 25 g , 45 g , 60 g 의 3 단계로 바꾸어 9종류의 모형그물을 만들고, 각각 PP-25, PA-25, PES-25, PP-45, PA-45, PES-45, PP-60, PA-60 및 PES-60 그물이라고 정하였다.

회류수조의 수로위에 투망장치를 설치해서 정지 상태의 수중에 투망하고, 관측부 전면에 설치한 비디오 카메라를 이용하여 촬영 녹화하였다. 그리고, 그물에 표시한 측정점의 좌표를 화상해석장치로 읽고 실험치를 구하였다.

여기서, 건착망의 수직방향의 침강운동을 나타내는 미분방정식을 구하고 Runge-Kutta-Gill법에 의한 연립미분방정식 해법을 이용하여 수치 해석을 행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 발들량이 60 g 일 때, 아랫자락의 평균 침강속도는 PES그물 12.2 cm/s 로 가장 빠르고, PA그물 11.4 cm/s , PP그물 10.7 cm/s 순으로 늦게 나타났다.

2. 그물감의 저항계수 K_D 는, 계산결과 $K_D=0.09 \left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)^4$ 의 관계식으로 나타낼 수 있었다.

3. 그물다발의 저항계수 C_R 은, 계산결과 $C_R=0.91 \left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)$ 의 관계식으로 나타낼 수 있었다.

4. 건착망 투망후 경과시간에 따른 그물 아랫자락의 도달수심에 대한 실험치와 계산치의 관계는 정합성이 매우 높아, 발들량이 25 g 일때 $meas.=1.04 \text{ cal.}$, 45 g 일때 $meas.=0.99 \text{ cal.}$ 였으며, 60 g 일때 $meas.=0.98 \text{ cal.}$ 의 관계였다.

사 사

본 연구를 수행하는데 많은 지도를 해주신 鹿兒島대학 今井健彦 교수 및 제주대학교 박정식 교수님께 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Kim, S. J., T. Imai and H. Kikukawa, 1992. An analysis on the sinking characteristics of weighted netting. Nippon Suisan Gakkaishi, 58(6), 1037~1042.
- Kim, S. J., 1993. Fundamental studies on the design of purse seine. Ph. D. thesis. Kagoshima Univ., 143pp
- Konagaya, T., 1971(a). Studies on the design of the purse seine. Jour. Fac. Fish., Mie Univ., 8(3), 209~296.
- Konagaya, T., 1971(b). Studies on the Purse seine(II) : Effect of the mesh and the specific gravity of webbing. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 37(1), 8~12.
- 박정식, 1989. 제주도 주변해역 고등어 건착망의 연구(3) : 망선의 선급별 어획성능. 한국어업기술학회지, 25(2), 61~69.