巾着網의 運動特性(Ⅱ)

-그물감이 다른 巾着網의 沈降特性 解析-

金 碩 鍾·朴 正 埴
濟州大學校
(1995년 9월 23일 접수)

Characteristics on the Motion of Purse Seine(Ⅱ)

-An Analysis on the Sinking Characteristics of Model Purse Seine by Different Netting Material-

Suk-Jong KIM and Jeong-Sik PARK
Cheju National University
(Received September 23, 1995)

Abstract

This study describes an analysis on the sinking characteristics in purse seine.

The experiment was carried out using three simplified model seines in a flume tank under still water condition.

The densities(ρ) of netting materials were 0.91g/cm^3 for PP seine, 1.14g/cm^3 for PA seine and 1.38g/cm^3 for PES seine.

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) Sinking speed of net margin was fastest for PP seine, followed by PA and PES seines.
2) The coefficient of resistance for netting of seine was estimated to be $K_D = 0.061\left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)^4$.
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(meas.= 0.99cal.).

緖 論

巾着網 漁具는, 漁撈作業 過程에서 짧은 時間안에 充分한 水深까지 그물의 아랫자락 부분을 어떤 方法으로 빨리 沈下시킬 수 있을 가 하는 것이 漁具 設計上 매우 중요한 항목이다.

이에 관해서 系統的이면서 物理學的으로 解析한 Konagaya[1] 硏究가 있으며, 그 이외, 이 問題와

관련해서 川上[2] 및 張 등[3]은, Konagaya[1]의 硏究理論을 基礎로 하여 解說 정리하였으나, 보다 폭넓은 범위의 實驗을 통하여 硏究한 報告는 거의 없는 실정으로 巾着網 漁具 設計에 그대로 適用하기에는 많은 補完이 요구되고 있다.

그물이 投網되어 그물의 아랫자락이 沈下하는 速度가 漁具의 漁獲性能에 크게 관계된다[3]. 그러므로, 저자들은 이러한 문제와 관련해서 그물감의 材料에 의한 巾着網의 沈降運動의 差異를 究明하고, 海水보다 작은 密度의 그물감으로 만들어진 그물의 沈降速度가 가장 빠르게 나타났다는 結果를 報告한 바 있다[4].

本 硏究에서는 前報[4]의 實驗結果를 檢證하기 위한 理論式을 求하고 數値解析을 실시하여 巾着網의 沈降特性을 究明함과 동시에 몇 가지 物理定數의 決定이 可能하였으므로, 그 結果를 報告한다.

材料 및 方法

實驗에는 그물코의 발의 길이와 直徑이 동일하고 密度가 다른 매듭 없는 그물감으로 구성된 巾着網 模型을 使用하였는데, 本 實驗에 사용한 模型漁具, 實驗裝置 및 實驗方法은 前報[4]와 같다.

巾着網의 投網始作 直前의 모양과 投網完了 直後의 모양을 Fig. 1에 나타냈다.

實驗에 사용한 그물은 PP그물(폴리프로피렌系, 密度 0.91g/cm^3), PA그물(폴리아미드系, 密度 1.14g/cm^3) 및 PES그물(폴리에스터系, 密度 1.34g/cm^3)이라고 定한 세 種類의 巾着網 模型이다.

이 實驗은, 鹿兒島大學 水産學部 回流水槽(觀測水路 6L×2B×1Dm)에서 實施하고, 그 解析에는 同大學 情報處理센터의 計算機 IBM 3081-k를 利用했다.

結果 및 考察

經過時間 0.5초 간격으로 그물 아랫자락의 到達水深을 측정하고, 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 經過時間에 따른 그물 아랫자락의 到達水深은 PP그물이 가장 빠르고, PA 및 PES그물 順으로 늦게 나타났다.

그물의 沈降狀態를 살펴보면, PP그물은 그물 다발이 항시 水面부근에 있고 그물 아랫자락의 발줄에 매단 발돌에 作用하는 重力에 의하여 그물의 벽을 만들어 가면서 沈下한다. 그리고, PES그물은 그물다발이 뜸줄과 발줄 사이 즉 그물 폭의 거의 中間部分에 생겨, 이 그물다발을 中心으로 上下 양쪽에서 그물의 벽을 만들어 가면서 沈下해 간다. 前述한 두개의 沈降特性을 비교해 보면, 그물감의 密度가 0.91g/cm^3이면서 그물 아랫자락에 荷重이 集中되어 있는 PP그물은, 그물감이 연속적으로 펼쳐지면서 垂直으로 下降해 가는 것에 비해, 그물감의 密度가 1.38g/cm^3인 PES그물은, 그물 中央部分에 생긴 그물다발이 작아지면서 沈降해 간다. 이와 같이 그물감의 密度差가 巾着網의 그물 아랫자락의 沈降特性에 影響을 주며, 이 影響의 程度를 나타내기 위해서는 前述한 그물감이 沈降할 때 받는 流體抵抗의 特性을 解明하여야 한다. 따라서, 그물감의 沈降을 支配하는 微分方程式을 利用하여 數値解析을 行하였다.

本 實驗에서는, 그물 投網시 豫測되던 水平方向의 運動力은 그 값이 매우 작아서 巾着網의 沈降運動에 그다지 影響이 없다는 實驗結果[4]로부터 解析過程에서는 그 값을 考慮하지 않았다. 또한, 그물다발의 깊이 方向의 幅은 없는 것으로 假定하여 解析하였다. 그리고, 그물감이 받는 總 流體抵抗은 각각의 網素子에 作用하는 流體抵抗力의 總和로서 求하여진다고 보았다. 여기서, 網素子라고 하는 것은 매듭 주위의 4가닥 발의 중심에서 절단한 X자 형상의 構造物이다[5].

그물감의 密度를 ρ, 해수의 密度를 ρ_w라고 한다.

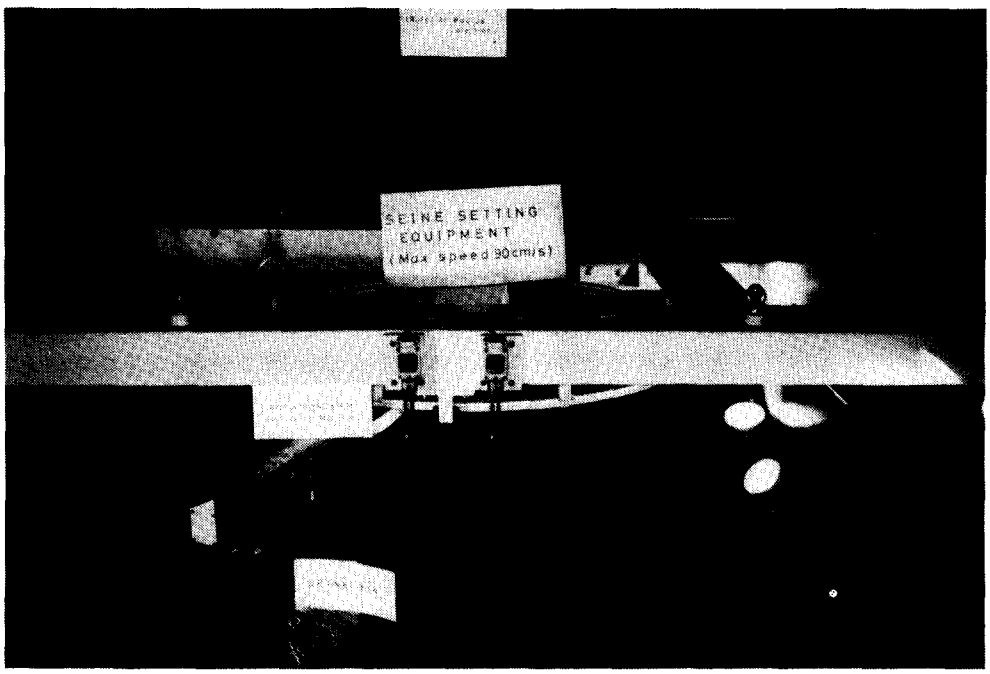
1. PP그물 ($\rho<\rho_w$)의 沈降解析

단위길이당의 발돌의 質量을 m, 뜸줄로부터 그물 아랫자락까지의 水深을 y_1, 그물의 展開幅을 l_s라고 할 때, 전체의 運動量 P_1은 (1)식과 같이 나타낼 수 있다.

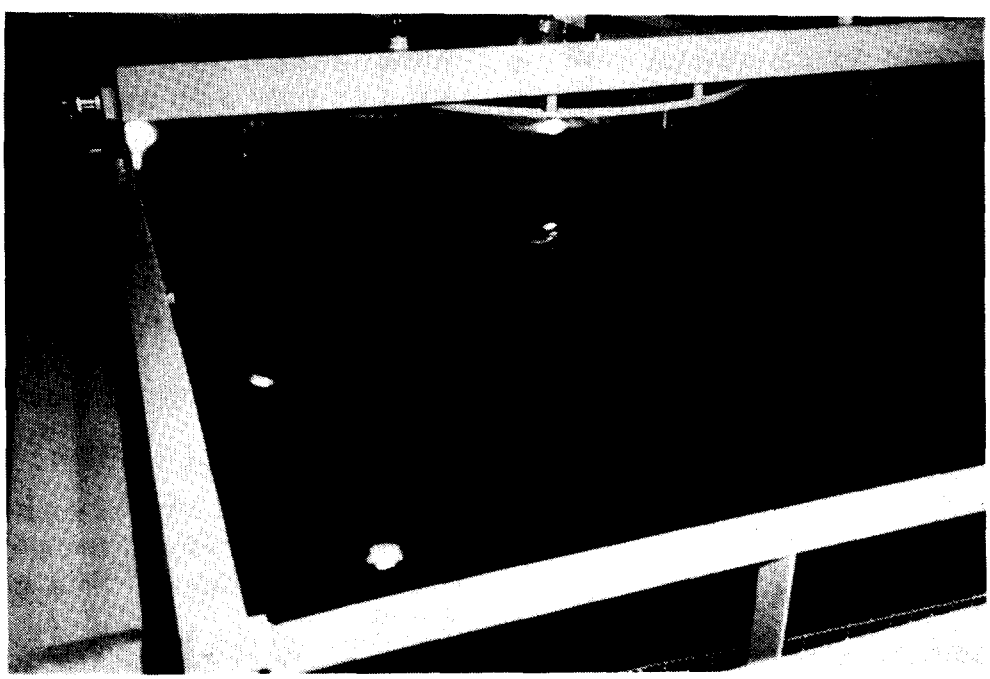
$$P_1=(m+\rho\sigma y_1)\frac{dy_1}{dt} \qquad (1)$$

여기서, t는 시간, σ는 網素子 1개의 투영면적이다.

한편, 運動量의 변화는 역적(力積)과 같기 때문



(a) : Front view



(b) : Rear view

Fig. 1. Apparatus for setting seine.

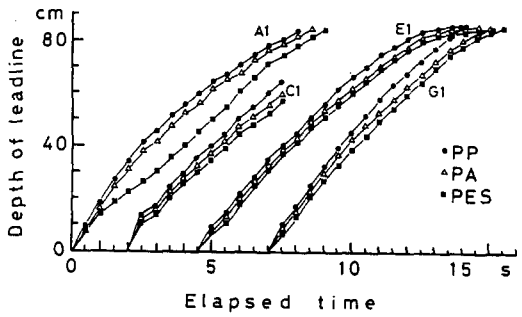


Fig. 2. Relationship between elapsed time(s) and depth(*cm*) of A1, C1, E1 and G1 measuring points for the model seines.

에 다음(2)식이 성립한다.

$$\frac{dP_1}{dt}=(m-V_L\rho_w)g+(\rho-\rho_w)\sigma g y_1 - D\left(\frac{dy_1}{dt}\right)^2-Ky_1\left(\frac{dy_1}{dt}\right) \quad (2)$$

여기서, V_L는 단위길이당의 발돌의 체적, g는 重力加速度, D는 발돌의 抵抗係數, K는 그물감의 抵抗係數, $m-V_L\rho_w=W_L$는 단위길이당의 발돌의 水中重量이다.

이 식에서, 우변 제1항은 발돌에 作用하는 重力에서 浮力을 뺀 것이며, 제2항은 그물감에 作用하는 重力에서 浮力을 뺀 것이다. 그리고, 제3항은 발돌의 流體抵抗, 제4항은 그물감의 流體抵抗이다. 이때, 발돌의 流體抵抗은 발줄에 매단 圓筒形 납돌의 직경을 기준으로 한 Reynolds 수가 600 이상이었기 때문에, 속도 $\left(\frac{dy_1}{dt}\right)$의 2승에 비례하고, 그물감의 流體抵抗은 그물실의 직경을 기준으로 한 Reynolds 수가 매우 작았기 때문에 속도에 비례한다고 가정하여 解析하였다[2].

따라서, 발돌의 抵抗係數(D)는 다음의 近似式을 利用하여 求하였다.

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

여기서, S_L은 단위길이당의 발돌의 투영면적이고, C_D는 無次元의 係數이다. 이때, 발줄에 매단 발돌의 길이와 직경과의 비율에서 C_D의 값(0.65)을 求하고[3],(3)식에 대입하여 계산하였다.

한편, Reynolds 수가 작아서 粘性力이 慣性力보다 큰 경우인 그물감의 抵抗係數(K)는 다음의 近似式으로 부터 求하였다.

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

여기서, μ는 粘性係數, A는 매듭 없는 그물감의 網素子 1개의 표면적, So는 1cm²이고, K_D는 無次元의 係數이다. 그리고, 표면적(A)의 계산에는 다음의 實驗式[6]을 利用하였다.

$$A=2ijd(5.47d+6.61l)+10.27d^2(i+j) \quad (5)$$

여기서, d는 그물실의 직경, l은 발의 길이, i는 길이 방향의 그물 콧수이고, j는 幅 방향의 그물 콧수이다.

여기에서, (1)식과(2)식의 연립 미분방정식을 $y_1(t=0)=0, \left\{\frac{dy_1}{dt}(t=0)\right\}=0$의 초기조건에서 Runge-Kutta-Gill法에 의한 연립 미분방정식 解法7) 의 서브루틴을 사용하여 풀고, $y_1(t)$, $\frac{dy_1}{dt}(t)$를 求하였다.

計算한 結果,(4)식의 K_D값을 0.061, $\frac{\rho}{\rho_w}$ 의 지수 q를 4로 하면, $y_1(t)$의 計算値는 실험에서 구한 經過時間 t에 있어서의 그물 아랫자락의 到達水深과 거의 일치하였다.

2. PA그물 및 PES그물($\rho>\rho_w$)의 沈降解析

단위길이당의 발돌의 質量을 m, 뜸줄에서 그물 다발까지의 水深을 y_2, 뜸줄에서 그물 아랫자락까지의 水深을 y_3, 그물의 展開幅을 l_s라고 할 때, 그물 다발의 運動量 P_2는 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$P_2=\rho\sigma(l_s-y_3)\frac{dy_2}{dt} \quad (6)$$

그물다발에서 밑 부분에 위치한 그물 벽의 運動量 P_3는 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_3=\{m+\rho\sigma(y_3-y_2)\}\frac{dy_3}{dt} \quad (7)$$

따라서, 그물다발의 運動方程式은 다음의 (8)식과 같다.

$$\frac{dP_2}{dt}=(\rho-\rho_w)(l_s-y_3)\sigma g-R(l_s-y_3)\left(\frac{dy_2}{dt}\right)^2 \quad (8)$$

여기서, R은 그물다발의 抵抗係數이다.

이 식에서, 우변 제1항은 그물다발에 作用하는 重力에서 浮力을 뺀 것이며, 제2항은 그물다발의 流體抵抗이다. 이때, 그물다발의 流體抵抗은 그물다발의 직경을 기준으로 한 Reynolds 수가 크기 때문에 속도의 2승에 비례한다고 가정하였다[2].

한편, 그물다발에서 밑 부분의 運動方程式은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dP_3}{dt} = (m - V_L\rho_w)g + (\rho-\rho_w)\sigma g(y_3 - y_2) - D\left(\frac{dy_3}{dt}\right)^2 - K(y_3 - y_2)\frac{dy_3}{dt} \quad (9)$$

이 식에서, 우변 제1항은 발돌에 作用하는 重力에서 浮力을 뺀 것이며, 제2항은 그물감에 作用하는 重力에서 浮力을 뺀 것이다. 또한, 제3항은 발돌의 流體抵抗, 제4항은 그물감의 流體抵抗이다.

이때, 그물다발의 抵抗係數(R)는 다음의 近似式으로부터 求하였다.

$$R = \left\{\frac{C_R}{2}\left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)^p \rho_w l\right\} \quad (10)$$

여기서, C_R은 無次元의 係數이다.

여기에서 (6),(7),(8) 및(9)식의 연립 미분방정식을 $y_2(t=0)=0$, $y_3(t=0)=0$, $\left\{\frac{dy_2}{dt}(t=0)\right\}=0$, $\left\{\frac{dy_3}{dt}(t=0)\right\}=0$의 초기조건에서 풀고, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $\frac{dy_2}{dt}(dt)$, $\frac{dy_3}{dt}(t)$를 求하였다.

Table 1. Parameters in the differential equation for the model seines

Item	Parameters		
	PP seine	PA seine	PES seine
$\rho(g/cm^3)$	0.91	1.14	1.38
$\sigma(cm^2)$	1.47×10^{-2}	1.50×10^{-2}	1.54×10^{-2}
$V_L(cm^3)$	15.18×10^{-3}	11.67×10^{-3}	8.25×10^{-3}
$W_L(g)$	15.67×10^{-2}	12.05×10^{-2}	8.52×10^{-2}
$S_L(cm^2)$	8.44×10^{-2}	6.49×10^{-2}	4.59×10^{-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

여기서, $y_2(t)$는 經過時間에 따른 그물다발의 到達水深이고, $y_3(t)$는 經過時間에 따른 그물 아랫자락의 到達水深이다. 그리고, $y_1(t)$를 다음과 같은 식을 利用하여 求하고 解析하였다.

$$y_3(t) - y_2(t) = y_1(t) \quad (11)$$

計算한 結果,(10)式의 C_R의 값을 0.91, $\frac{\rho}{\rho_w}$의 지수 p를 1로 하였을 때, 計算과 實驗은 일치하였다.

실험조건은, 海水의 密度 ρ_w : 1.0g/cm^3, 그물의 展開幅 l_s : 86cm, 중력가속도 g : 980cm/s^2, 그물실의 직경 d : 0.045cm, 발의 길이 l : 1.05cm, 그물감의 길이 방향의 그물 콧수 i : 283코, 그물감 幅 방향의 그물 콧수 j : 58코, 점성계수 μ : 13.48 $g/cm\cdot s$로 하였다. 그리고, 計算에 이용한 그물감과 발돌에 대한 規格을 Table 1에 나타냈다.

實驗式을 구성하는 過程에서, 設定한 假定과 부여한 近似値의 타당성을 검토하기 위해, 각각의 그물에 있어서 經過時間 0.5초마다의 측정점 A1, C1, E1 및 G1의 到達水深에 대해서, 實驗値(meas.)와 미분방정식의 計算値(cal.)를 비교하였다. 그 結果, Fig. 3에 나타낸 것과 같이, 兩者의 관계는 meas.=0.99cal.로 일치성이 매우 양호하였

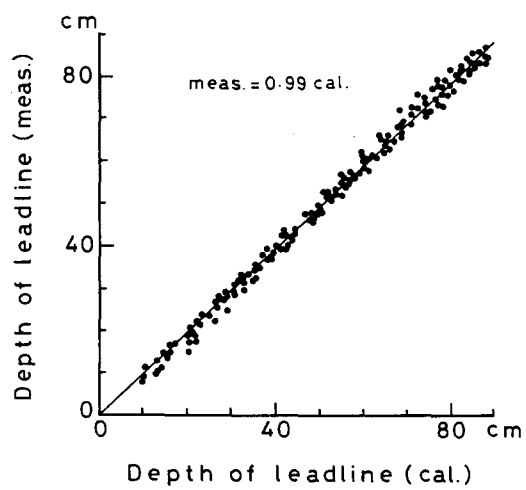


Fig. 3. Relationship between calculated(cal.) and measured values(meas.) of depth(cm) of leadline(on the A1, C1, E1 and G1 measuring points) for the model seines. Calculated values were derived from equation(1),(2),(6),(7),(8) and(9). Solid line shows the regression line.

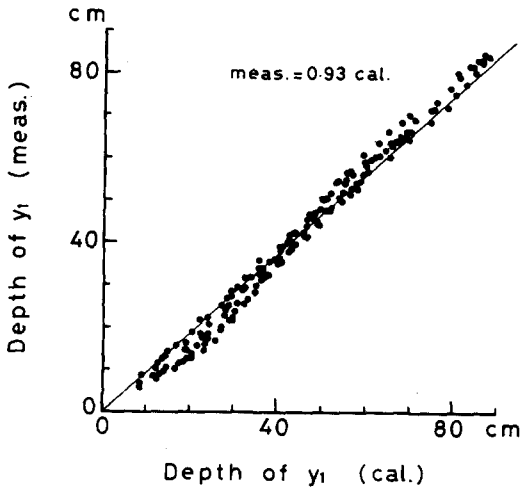


Fig. 4. Relationship between calculated(cal.) and measured values(meas.) of depth(*cm*) of y_1(on the A, C, E and G measuring lines) for the model seines. Calculated values were derived from equation(1),(2), (6),(7),(8) and(9). Solid line shows the regression line.

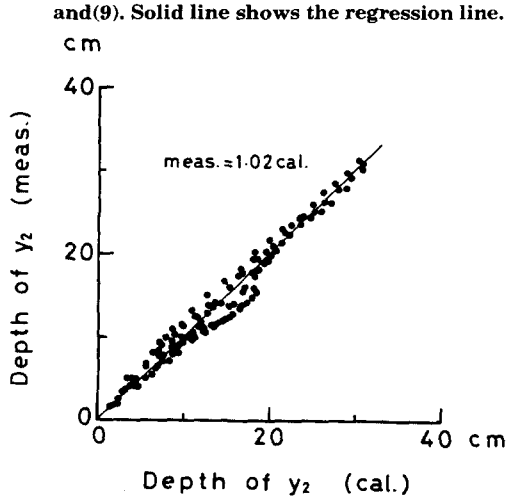


Fig. 5. Relationship between calculated(cal.) and measured values(meas.) of depth(*cm*) of y_2(on the A, C, E and G measuring lines) for the model seines. Calculated values were derived from equation (6),(7), (8) and(9). Solid line shows the regression line.

다. 계속해서, y_1과 y_2에 대해서, 實驗値와 計算値를 비교한 結果, 兩者의 關係는 높은 整合性을 나타냈다. y_1에서는 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 meas.=0.93cal.였고, y_2에서는 meas.=1.02cal.의 관계였다(Fig. 5).

巾着網의 沈降에 관한 理論的 解析에는 Konagaya[1], 川上[2] 및 張 등[3]의 연구가 있다. 이들은 海水의 密度(ρw)보다 큰 그물감으로 구성된 그물에 대하여 그물 아랫자락의 沈降을 解析하고 있다. 그리고, 巾着網의 아랫자락 전체가 동시에 沈降한다고 보고, 그물 아랫자락에 붙어 있는 발돌과 쥐고리, 쥐줄등의 무게에 의해서 水面에 접혀 있던 그물다발부터 그물이 展開되면서 가라앉는다고 가정하여 沈降運動을 정리 解析하였다.

本 硏究에서는 그물감의 密度가 0.91～1.38 g/cm^3까지, 즉 $\rho<\rho_w$ 및 $\rho>\rho_w$의 범위에서 실험을 실시하여 그물 아랫자락 및 그물다발의 沈降特性을 究明함과 동시에 數値解析을 통하여 物理定數의 결정이 가능하였다.

本 硏究의 實驗結果에서 그물의 水中 總重量을 동일하게 한 경우, 그물 아랫자락의 沈降은 그물감의 密度가 작고 발돌량이 많은 그물일수록 빠르게 나타나 巾着網用 그물감에는 반드시 密度가 큰 것이 유리하다고는 할 수 없을 것 같다. 또한, 海水의 密度보다 작은 그물감을 사용하면 그물다발이 수면 부근에 머물기 때문에 環蝕現象이 일어나기 어렵다는 事實이 시사되었다.

要　　約

巾着網의 沈降 運動特性을 究明하기 위한 基礎연구로서 그물감의 材料가 다른 세 種類의 巾着網을 水中 總重量(60*g*)이 동일하게 되도록 발돌의 양을 調節하여 製作하고, 沈降特性을 解析하였다. 實驗에 使用한 巾着網은 그물실의 직경 및 발의 길이가 같은 폴리프로피렌系(密度 0.91g/cm^3), 폴리아미드系(密度 1.14g/cm^3) 및 폴리에스터系(密度 1.38g/cm^3)의 매듭 없는 그물감을 使用하여, 뜸줄의 길이를 420*cm*, 그물의 幅을 86*cm*가 되도록 製作하고, 이 그물들을 각각 PP, PA 및 PES그물이라고 하였다.

回流水槽의 水路上에 投網裝置를 설치해서 정지상태의 水中에 投網하고, 側面에 설치한 비디오 카메라를 이용하여 撮影錄畵하였다. 그리고, 그물에 표시한 측정점의 座標를 畵像解析裝置로 읽고 實驗値를 구하였다.

여기에서, 巾着網의 垂直方向의 沈降運動을 나

타내는 微分方程式을 구하고 Runge－Kutta－Gill法에 의한 연립 미분방정식 解法을 이용하여 數値解析을 행하였으며, 그 結果는 다음과 같다.

1. 그물 아랫자락의 沈降速度는 PP그물이 가장 빠르고, PA 및 PES 그물 順으로 늦게 나타났다.

2. 그물감의 抵抗係數 K_D는 計算結果 $K_D = 0.061\left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)^4$의 關係式 으로 나타낼 수 있었다.

3. 그물다발의 抵抗係數 C_R은 計算結果 $C_R = 0.91\left(\frac{\rho}{\rho_w}\right)$의 關係式으로 나타낼 수 있었다.

4. 巾着網 投網後 經過時間에 따른 그물 아랫자락의 到達水深에 대한 實驗値와 計算値는 매우 잘 일차하여 meas.＝0.99cal.의 관계였다.

參考文獻

1) Konagaya T.(1971) : Studies on the design of the purse seine. Jour. Fac. Fish., Mie Univ. 8(3), 209－296.

2) 川上太左英(1981) : 漁業解析入門. 恒星社厚生閣, pp 1－29, 108－111.

3) 張志元, 徐斗玉(1982) : 漁具工學. 新韓出版社, pp 37－42, 157－164.

4) 金 碩鍾, 今井健彦, 朴 正壎(1995) : 巾着網의 運動特性－I , 그물감이 다른 巾着網의 沈降擧動. 韓國漁業技術學會誌, 31(4), pp. 362－371.

5) Imai T.(1986) : Fundamental studies of the fluid dynamical resistance on the plane netting. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ. 35(2), 169－253.

6) Imai T.(1988) : Experimental studies on the surface areas of the twisted knotless nettings. Nippon Suisan Gakkaishi 54(3), 437－440.

7) 山內二郎, 森口繁一, 一 松信(1965) : 電子計算機のための 數値計算法－I . 培風館, pp. 128－137.