

模型 그물에 대한 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究

— 海産魚에 의한 數值 모델의 適合性 檢討 —

張 鎬 榮 · 李 珠 熙*

群山大學校 · 釜慶大學校*

(1998년 2월 24일 접수)

A Study on the Numerical Modeling of the Fish Behavior to the Model Net

— Fitness Examination of Numerical Model by the Marine Fish —

H. Y. CHANG and J. H. LEE*

Kunsan National University, Pukyong National University*

(Received February 24, 1998)

Abstract

In order to accumulate fundamental data for control of fishes' behavior at the real fishing ground, the fitness of the numerical model for describing the behavior of fishes was examined by the marine fish.

Mullet, *Mugil cephalus* were used as experimental fishes. The numerical model of fishes' behavior presented in our earlier paper was modified on the vertical movement of fish school. For the comparison of parameters of the modified numerical model between mullet and rainbow trout, the estimated values of parameters were identified with dimension. The fitness of the modified numerical model was examined by the comparison between experiment and simulation on the several indexes represented by fishes' swimming characteristics.

The obtained results are summarized as follows :

1. The non-dimensional parameter a' of propulsive force and k_b' of interactive force by the experiment without model net showed a similarity, but the non-dimensional parameter k_c' of schooling force for rainbow trout was larger than one for mullet and the non-dimensional parameter k_w' of repulsive force for mullet was larger than one for rainbow trout.
2. The non-dimensional parameter a' and k_b' for rainbow trout by the experiment with model net were a little larger than ones for mullet, but non-dimensional parameter k_c' and k_w' for mullet were larger than ones for rainbow trout.
3. The non-dimensional parameter k_c' and k_b' showed the largest and the smallest value among the non-dimensional parameters for rainbow trout and mullet, respectively.
4. The fitness of the modified numerical model was confirmed by means of the comparison between experiment and simulation on the swimming trajectory of fishes, the mean distance of

individual from wall, the mean swimming speed, the mean swimming depth and the mean distance between the nearest individuals. Especially, the similarity of mean swimming depth was improved by using the modified numerical model.

序 言

前報(李 등; 1995, 李 등; 1995a, b)에서는 淡水魚인 무지개송어를 實驗魚로 사용하여 水槽實驗에 의한 魚群行動의 特性을 파악하고, 數值 모델의 파라미터를 推定하여 그 妥當性을 檢討하였으나, 장차 現場에서 數值 모델을 적용하기 위한 基礎資料의 蓄積을 위해서는 漁業의 대상이 되는 海産魚에 대한 數值 모델의 適合性을 檢討할 필요가 있다.

따라서, 이 研究에서는 魚群의 鉛直方向에 대한 運動을 數值 모델에 반영하여 數值 모델을 修正하고, 靜水狀態의 圓形水槽에서 송어를 대상으로 遊泳行動을 분석한 결과를 기초로 추정된 數值 모델의 파라미터 推定値와 淡水魚인 무지개송어에 대한 파라미터 推定値를 비교·분석하였으며, 實驗결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 비교함으로써 海産魚에 의한 數值 모델의 適合性을 檢討하였다.

裝置 및 方法

1. 實驗裝置

實驗에 사용한 3차원 位置計測 시스템과 位置解析 및 位置補正方法 등은 金 등(1998)에서 제시한 바와 같다.

實驗水槽는 FRP로 만든 圓形水槽를 이용하였으며, 그 구조와 크기는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다.

模型 그물은 誘導陷網漁具의 入口(문쇠)에 해당하는 부분만을 單純化시켜 Fig. 2와 같이 만들었으며, 직경 5mm의 스테인레스 봉으로 그물감을 고정할 틀을 만들어 Nylon 210D 9합사 13절의 그물감에 약 70%의 成形率을 주어 틀에 붙여 사용하였다.

2. 實驗方法

實驗魚는 自然産 송어 *Mugil cephalus*의 稚魚

를 구입하여 大型 飼育槽에서 1주일 정도 적응시킨 후 사용하였으며, 每回 實驗時마다 實驗魚를 교체하여 투입하였다. 實驗에 사용된 魚體의 크기는 Table 1과 같다.

Table 1. Details of fish size used in the experiment by the circular water tank

Experiment	No. of fish	Body weight (g)	Body length (cm)	Body height (cm)	Body width (cm)
without model net	10	47.1	15.4	2.55	2.47
with model net	10	58.4	16.6	2.97	2.72

實驗은 靜水狀態에서 模型 그물을 설치하지 않았을 때와 模型 그물을 설치하였을 때로 구분하여 각각 實驗魚를 10마리씩 투입하여 3~5회 觀測하고, 實驗魚의 遊泳狀態가 가장 양호한 경우를 선정하여 魚群行動을 조사하였다.

實驗時 水深은 圓形水槽 외곽의 최소 水深이 40cm 되게 하여 模型 그물의 높이와 같게 하였으며, 實驗時 水溫은 22~25℃, 鹽分濃度는 30.07~30.66%이었다.

觀測部內的 照明은 觀測部 주위에 照明用 앵글을 세우고, 그 上部에 형광등(40W×2)을 설치하여 觀測部 水面上의 照度를 100lux(CTIS, P-114)로 유지하였다.

3. 數值 모델의 修正

定置網과 같은 誘導陷網漁具에서는 等深線을 따라 유영해 온 魚群이 길그물과 만났을 때, 魚群은 遊泳方向을 바꿀 뿐만 아니라 現狀의 遊泳層보다 깊은 곳으로 향하고, 깊은 곳에 설치되어 있는 몸그물로 유도되어 入網하는 것이라고 하였다(井上; 1985). 이것은 魚群이 定置網의 길그물과 만났을 때, 다음과 같은 2가지 行動原則을 나타내는 것을 前提로 한다. 첫째, 魚群은 等深線과 平行하게

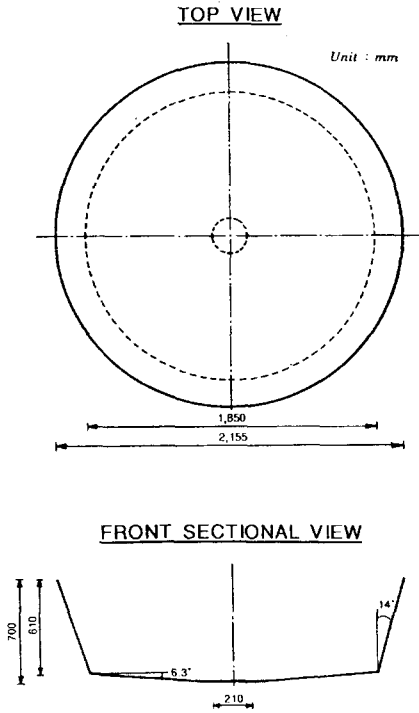


Fig. 1. Construction of the circular water tank.

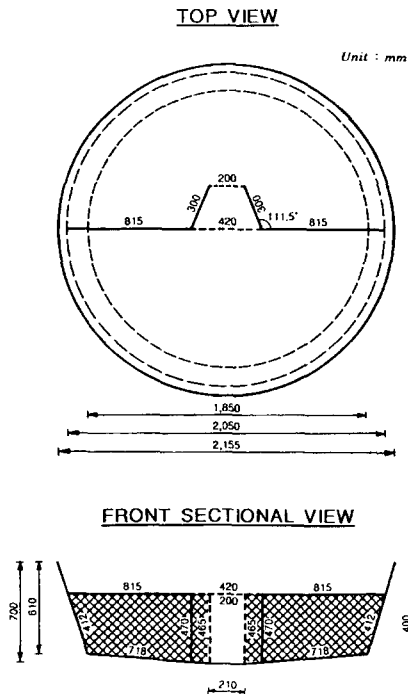


Fig. 2. Construction of the model net used in experiment.

移動한다. 둘째, 魚群은 障礙物을 만나면 깊은 곳으로 향한다. 이러한 原則은 魚群이 일정한 水深을 유지하여 游영하고, 水深傾斜度에 대하여 鉛直方向의 運動을 수반한다는 것을 의미하므로, 魚群이 定置網의 網과 만났을 때의 2가지 行動原則을 數值 모델에 반영하여 鉛直方向에 대한 魚群 運動을 推定할 필요가 있다.

이 研究에서는 李 등(1995a)이 제시한 數值 모델을 修正하여, 水深傾斜度가 있는 곳에서 魚群이 障礙物과 만났을 때의 鉛直方向에 대한 游泳行動을 式 (1)과 같이 方向場의 概念을 적용하여 나타내었다.

$$F_{ri} = p_{ri} e_r \quad \text{for } x_i \in X, \quad (1)$$

여기서, p_{ri} 는 方向場의 세기를 나타내는 파라미터이며, e_r 은 方向場이 작용하는 方向을 나타내는 단위 벡터이며, X_r 은 方向場이 작용하는 범위를 나타낸다.

한편, 魚群이 障礙物과 만났을 때 작용하는 鉛直方向의 힘은 游泳水深을 유지하여 等深線과 平行하게 游영하려는 힘과 水深傾斜度에 대하여 鉛直方向으로 작용하는 힘으로 구분하여 다음과 같이 定義하였다.

(1) 游泳水深을 유지하려는 힘

魚群이 等深線과 平行하게 游영하기 위해서는 일정한 水深에서 游영하여야 한다. 그러므로, 이 힘은 각 個體가 평균 游泳水深보다 깊거나 얇은 水深에서 游영하는 경우에는 鉛直方向의 速度成分을 증가시켜 일정 水深에 도달하려는 성질을 나타내며, 다음 式으로 나타내었다.

$$p_{ri} = \begin{cases} k_{phi} \frac{h_i - h_m v_{hi}}{h_m} & \text{for } v_{hi} > 0 \text{ and } d_i > d_p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, k_{phi} 는 파라미터이며, v_{hi} 는 個體 i 에 대한 鉛直方向의 速度成分을, h_m 는 평균 游泳水深을, h_i 는 個體 i 의 游泳水深을 나타낸다. 또한, d_i 는 個體 i 의 障礙物로부터의 거리이며, d_p 는 이 힘이 작용하는 限界距離를 나타낸다.

(2) 水深傾斜도에 의해 작용하는 힘

Fig. 3의 模式圖에 나타난 바와 같이, 水深傾斜도에 의해 鉛直方向으로 작용하는 힘에 대하여서는 梁(1994)이 처음으로 提案한 바 있으며, 여기서는 다음 式으로 定義하였다.

$$p_{ri} = \begin{cases} k_{pri} & \text{for } v_{ri} > 0 \text{ and } d_i < d_p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, k_{pri} 는 파라메터이며, v_{ri} 는 個體 i 에 대한 鉛直方向의 速度成分을 나타낸다.

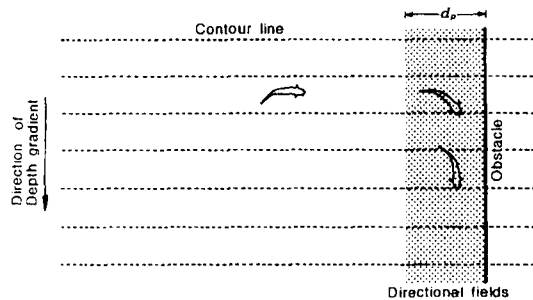


Fig. 3. Model of the fish behavior for leader net on slope of the sea bottom.

結果 및 考察

1. 游泳特性

靜水狀態의 圓形水槽에서 游영하는 송어의 魚群行動을 計測하여 구한 3차원 위치 時系列 데이터로부터 魚群行動의 特性을 나타내는 指標로서 平均 游泳速度, 平均 游泳 깊이, 水槽의 벽과 個體 사이의 平均 距離 및 個體 相互間의 平均 最近接距離 등을 계산한 結果는 Table 2와 같다.

Table 2. Results of experiment in the circular water tank

Experiment	Swimming speed (cm/sec)	Swimming depth (cm)	Distance of individual from wall of tank (cm)	Nearest distance between individuals (cm)
without model net	18.9(1.2BL)	-14.1	85	10.4
with model net	10.6(0.6BL)	-11.1	7.6	7.3

靜水狀態의 圓形水槽에서 模型 그물이 없는 경우와 模型 그물이 있는 경우, 송어의 游泳軌跡을 나타낸 것은 Fig. 4와 같다. 游泳軌跡으로부터 游泳行動의 變化를 살펴보면, 模型 그물이 없는 경우에는 水平 및 鉛直方向의 運動이 활발하여 游泳行動範圍가 넓었으나, 模型 그물이 있는 경우에는 水槽 中央部의 出入口 부근에서 주로 游영하여 行動範圍가 좁고 模型 그물로서의 出入이 빈번하였으며, 模型 그물의 構造에 따른 游泳行動의 차이는 거의 없었다.

個體數가 10마리인 송어의 3차원 위치 時系列 데이터로부터 계산된 靜水狀態에서의 平均 游泳速度는 模型 그물이 없는 경우에는 18.9cm/sec(1.2BLcm/sec)였으며, 模型 그물이 있는 경우에는 10.6cm/sec(0.6BLcm/sec)로 나타나 模型 그물이 없는 경우의 體長當 游泳速度가 模型 그물이 있는 경우에 비해 2배 정도 빠른 것으로 나타났다. 이것은 模型 그물의 有無에 따른 游泳行動範圍의 차이에 의한 영향으로 생각된다.

魚群의 平均 游泳 깊이는 11.1~14.1cm로서 주로 表層에서 游영하는 것으로 나타났다. 또한, 水槽의 벽과 個體 사이의 平均 距離는 7.6~8.5cm였으며, 個體 相互間의 平均 最近接距離는 7.3~10.4cm로 나타나 模型 그물의 有無에 따른 차이는 크지 않았다.

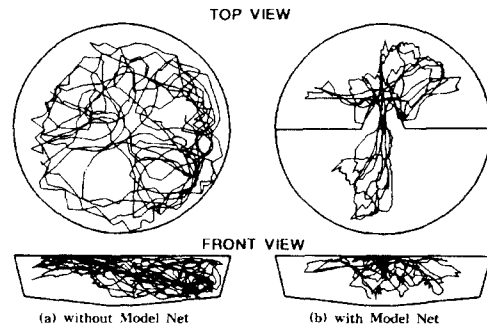


Fig. 4. Swimming trajectory of mullet in the circular water tank for 5 minutes.

以上과 같이 水槽實驗에 의한 송어의 游泳特性을 나타내는 指標에 대하여 조사한 結果에 의하면, 淡水魚인 무지개송어의 游泳特性(李 등; 1995)과는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

2. 파라미터의 推定 및 比較

數值 모델에 포함되어 있는 파라미터 중에서 實驗魚로부터 計測이 가능한 m 및 ν 와 距離를 나타내는 파라미터(李 등; 1995a)인 α , δ , d^+ , d'^+ , d^- , d'^- 와 이 研究에서 修正 모델에 반영한 鉛直方向의 運動에 영향을 미치는 限界距離를 나타내는 파라미터인 d_p 등의 既知의 파라미터는 Table 3에 나타낸 바와 같다.

Table 3. Values of known parameters by the experiment in the circular water tank

$m(g)$	$\nu(g/cm)$	$\alpha(cm)$	$\delta(cm)$	$d^+(cm)$	$d'^+(cm)$	$d^-(cm)$	$d'^-(cm)$	$d_p(cm)$
53.8	0.30	7.5	40	25	7.5	40	20	10

또한, 魚群이 障礙物과 만났을 때 작용하는 鉛直方向의 運動을 고려하여 修正한 數值 모델의 外力을 나타내는 파라미터는 李 등(1995a)에서와 같이 魚群의 3차원 위치 時系列 데이터를 이용하여 最小自乘法으로 同定하였으며, 推定한 파라미터의 平均值는 Table 4에 나타낸 바와 같다.

Table 4. Estimated mean values of the parameters by the experiment in the circular water tank

Experiment	Estimated parameters								
	a	k_b	k_c	k_w^+	k_w^-	k_{pc}	k_{pe}	k_{ph}	k_{pr}
without model net	312.8	88.1	48.2	46.8	0.9	--	--	48.7	57.8
with model net	248.2	44.4	57.3	46.9	1.8	2.6	30.7	14.6	36.4

高木 등(1993)에 의하면, 實驗에 사용한 水槽의 形狀과 크기에 의한 파라미터의 차이는 거의 없는 것으로 밝혀져 있다. 따라서, 實驗水槽의 크기와 구조에는 차이가 있으나, 鰻어와 李 등(1995a)의 무지개송어에 대하여 두 魚種間의 파라미터를 비교할 수 있다.

魚種別 數值 모델의 外力을 나타내는 파라미터의 차이를 비교하기 위해서는 파라미터들이 각각 다른 次元을 갖고 있으므로, 먼저 각 파라미터를 無次元化해야 한다. 無次元化한 각 파라미터는 다음과 같이 定義하였으며(Matuda et al.; 1993), 그

結果는 Table 5와 같다.

$$\begin{cases} a' = a \cdot \Delta t / (m \cdot \bar{v}) \\ k_b' = k_b \cdot \Delta t / (m \cdot \bar{v}) \\ k_c' = k_c \cdot \Delta t / m \\ k_w' = k_w \cdot \Delta t / m \end{cases} \quad (4)$$

여기서, a' , k_b' , k_c' 및 k_w' 는 각각 前方推進力 파라미터, 誘引力 파라미터, 成群力 파라미터, 反撥力 파라미터를 無次元化한 파라미터이고, Δt 는 3차원 위치 時系列 데이터의 sampling 간격이며, \bar{v} 는 實驗結果에 의한 각 個體의 평균 遊泳速度이다.

Table 5. Non-dimensional parameter values for rainbow trout and mullet by the experiment in the water tank

Species	Experiment	Non-dimensional parameters			
		a'	k_b'	k_c'	k_w'
rainbow trout	without model net	0.13	0.05	0.73	0.12
	with model net	0.26	0.15	0.31	0.18
mullet	without model net	0.15	0.04	0.45	0.43
	with model net	0.22	0.04	0.53	0.44

notes ; a' : propulsive force, k_b' : interactive force, k_c' : schooling force, k_w' : repulsive force.

淡水魚인 무지개송어와 海産魚인 鰻어에 대하여 파라미터를 無次元化한 結果는 Fig. 5 및 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. 模型 그물이 없는 경우(Fig. 5)에는 a' 및 k_b' 의 값은 두 魚種間에 큰 차이가 없었으나, k_c' 의 값은 무지개송어가 크고 k_w' 의 값은 鰻어가 큰 것으로 나타났다. 이것은 a' 가 遊泳能力을 나타내는 파라미터이고, k_b' 가 個體 사이의 影響力을 나타내는 파라미터이므로, 個體가 서로 適正距離를 유지하여 游泳하는 능력은 두 魚種이 비슷하다는 것을 의미한다. 또한, k_c' 가 成群力을 나타내는 파라미터이고, k_w' 가 벽에 대한 反撥力을 나타내는 파라미터이므로, 成群力은 무지개송어가 鰻어에 비해 강하나 벽으로부터의 反撥力은 鰻어가 강하여 무지개송어에 비해 벽이나 障礙物에 대한 回避反應을 잘 한다는 것을 의미한다.

한편, 模型 그물이 있는 경우(Fig. 6)에는 a' 및 k_b' 의 값은 무지개송어가 鰻어에 비해 다소 컸으

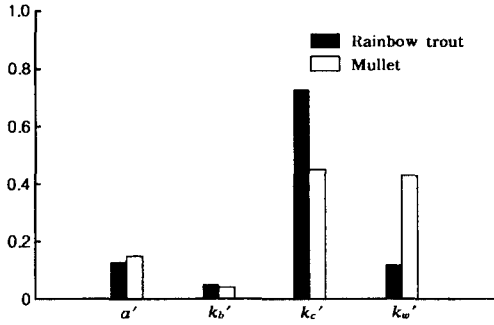


Fig. 5. Comparison of the non-dimensional parameter values between rainbow trout and mullet by the experiment without model net. a' : propulsive force, k_b' : interactive force, k_c' : schooling force, k_w' : repulsive force.

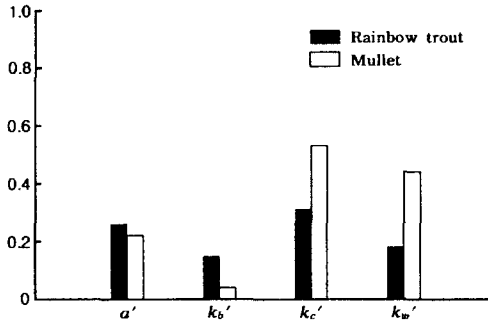


Fig. 6. Comparison of the non-dimensional parameter values between rainbow trout and mullet by the experiment with model net.

나, k_c' 및 k_w' 의 값은 승어가 큰 것으로 나타났다. 이것은 모델 그물로 인해 遊泳空間이 구획되어 遊泳行動範圍가 좁아지면, 淡水魚인 무지개송어의 群行動에 있어서 成群力이 차지하는 비중이 작아지고, 前方推進力 및 個體 사이의 誘引力이 차지하는 비중이 상대적으로 커지는 것은 群體內的 各個體가 勢力圈(territory)을 형성하여 適正距離 이내로 접근하지 않게 되는 반면, 海産魚인 승어는 모델 그물의 有無에 따른 遊泳行動範圍의 영향을 크게 받지 않기 때문으로 생각된다.

또한, 모델 그물의 有無에 관계없이 無次元化한 파라미터 값 중에서 가장 큰 값을 나타낸 것은 두

魚種 모두 k_c' 였으며, k_b' 는 가장 작은 값을 나타내었다. 이것은 고기가 群行動을 하는 데 있어서 個體 相互間的 遊泳速度와 方向을 일치시키는 것이 個體 사이의 距離를 유지하는 것보다 더 큰 역할을 하는 것으로 생각할 수 있다

3. 數值 모델의 適合性 檢討

水深의 傾斜가 있는 水槽에서 魚群이 障礙物을 만났을 때 작용하는 鉛直方向의 運動을 고려한 修正 數值 모델을 이용하여 海産魚에 의한 數值 모델의 適合性を 檢討하기 위하여, 魚群의 遊泳特性을 나타내는 指標에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 比較·檢討하였다.

Fig. 7은 모델 그물이 없는 水槽와 모델 그물이 있는 水槽에서 승어의 遊泳軌跡(left) 및 水槽 벽과 個體 사이의 평균 距離의 頻度分布(right)에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 比較한 것이다. 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 遊泳軌跡을 比較하면, 實驗에 의한 觀測值에 비해 시뮬레이션에 의한 결과에서는 다소 완만하게 움직이는 것으로 나타났으나, 三宮 등(1986), 梁 등(1992; 1994), 高木 등(1993) 및 Matuda *et al.*(1993)의 結果에서와 같이 水槽內에서의 遊泳 패턴을 잘 나타내고 있는 것으로 생각된다. 또한, 水槽 벽과 個體 사이의 평균 最短距離에 대한 頻度分布도 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과가 완전히 일치하지는 않으나 類似性を 나타내었다.

Fig. 8은 모델 그물이 없는 경우와 모델 그물이 있는 水槽에서의 평균 遊泳速度의 변화(left)와 그 頻度分布(right)에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 比較한 것이다. 평균 遊泳速度는 實驗에 의한 觀測值의 변화 폭이 시뮬레이션에 의한 결과에 비해 다소 컸으나, 평균 遊泳速度의 頻度分布는 實驗과 시뮬레이션에 의한 결과가 대체로 類似性を 나타내었다.

Fig. 9는 모델 그물이 없는 경우와 모델 그물이 있는 水槽에서의 평균 遊泳깊이의 변화(left)와 그 頻度分布(right)에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 比較한 것이다. 평균 遊泳깊이의 변화 및 그 頻度分布는 實驗에 의한 觀測值에

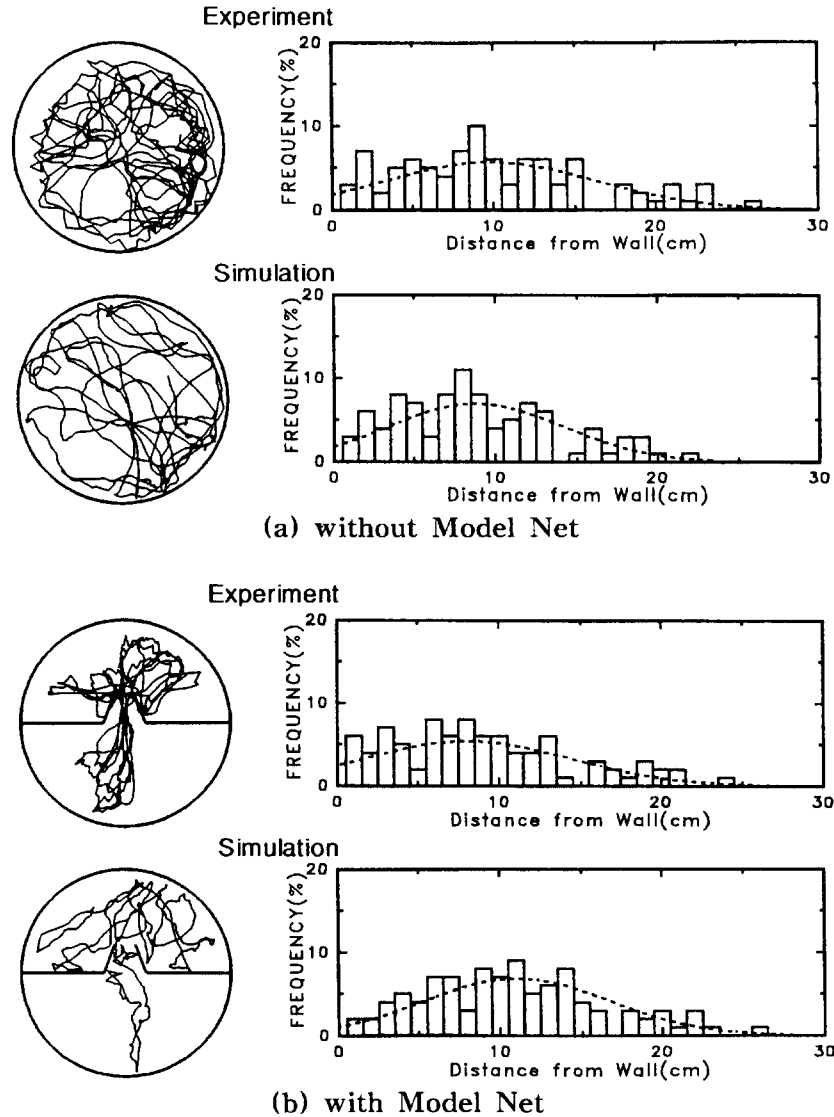


Fig. 7. Comparisons between experiment and simulation for mullet in the circular water tank on the fish trajectory and the mean distance of individual from wall at the stagnated flow.

비해 시뮬레이션에 의한 결과의 변화 폭이 적고, 평균 遊泳 깊이가 다소 완만하게 변화하는 樣相을 나타내었으나 대체로 類似性을 나타내었다.

Fig. 10은 模型 그물이 없는 경우와 模型 그물이 있는 水槽에서의 個體 相互間의 평균 最近接距離의 변화(left)와 그 頻度分布(right)에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 비교한 것이다. 송어의 個體 相互間의 평균 最近接距離의 변화 및

그 頻度分布는 시뮬레이션에 의한 결과가 實驗에 의한 觀測值에 비해 다소 변화 폭이 컸으나, 그 頻度分布는 대체로 類似性을 나타내었다.

以上の 遊泳特性을 나타내는 각 指標에 대한 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과의 比較에서 그 결과가 완전히 일치하지는 않으나 대체로 유사한 傾向을 나타내었으며, 특히 修正 模型을 사용함으로써 李 등(1995b)의 결과에 비해 魚群의 鉛直方

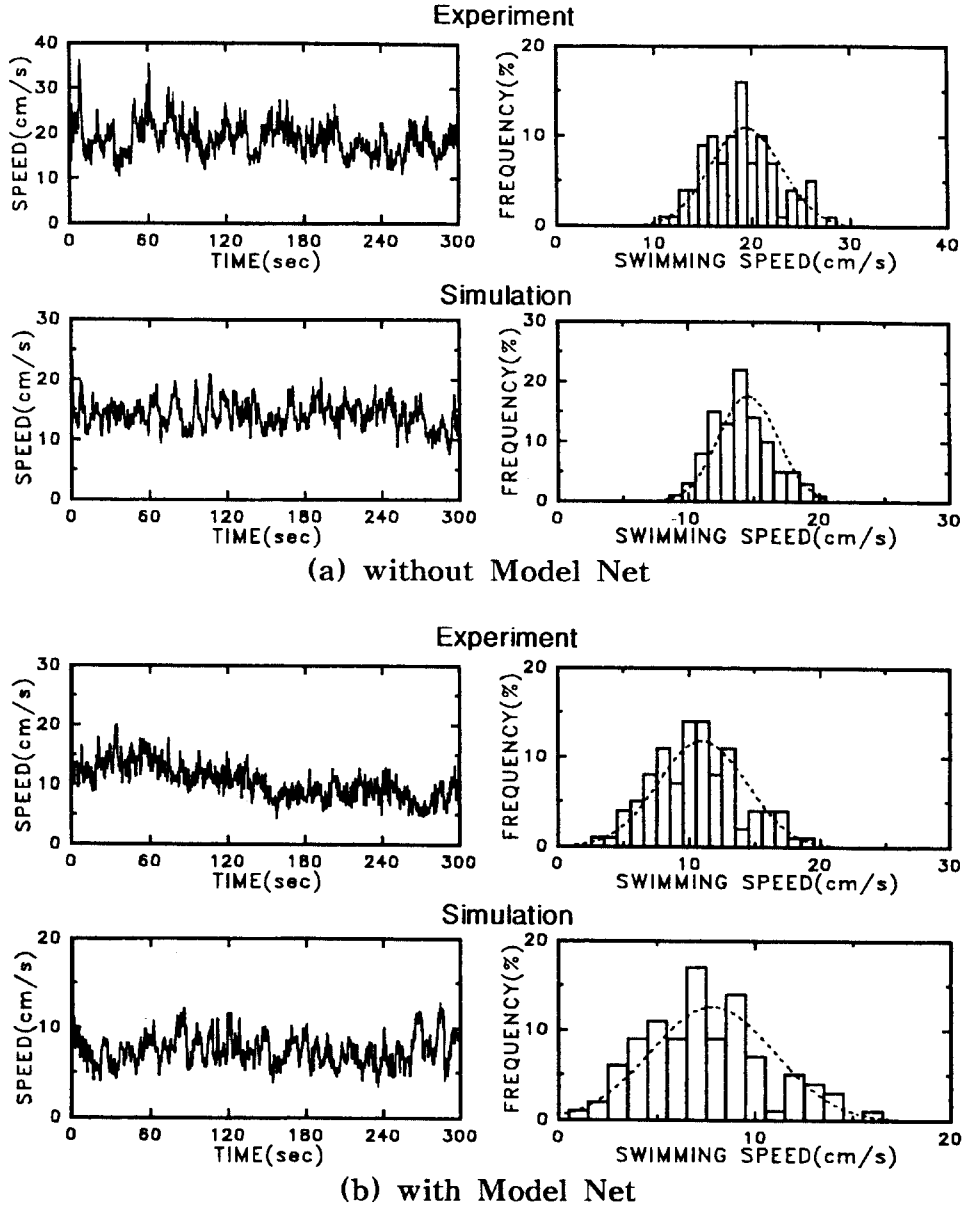


Fig. 8. Comparisons between experiment and simulation for mullet in the circular water tank on the mean swimming speed at the stagnated flow.

向에 대한 運動에서의 再現性이 向上된 것으로 나타났다.

要 約

이 研究에서는 魚群行動을 推定하기 위한 數值

모델을 海産魚에 적용하기 위한 檢討의 側面에서 海産魚인 송어를 대상으로 鉛直方向의 運動을 고려하여 수정한 數值 모델의 파라미터 推定値와 淡水魚인 무지개송어에 대한 파라미터 推定値를 비교·분석하고, 魚群의 游泳特性을 나타내는 指標에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를

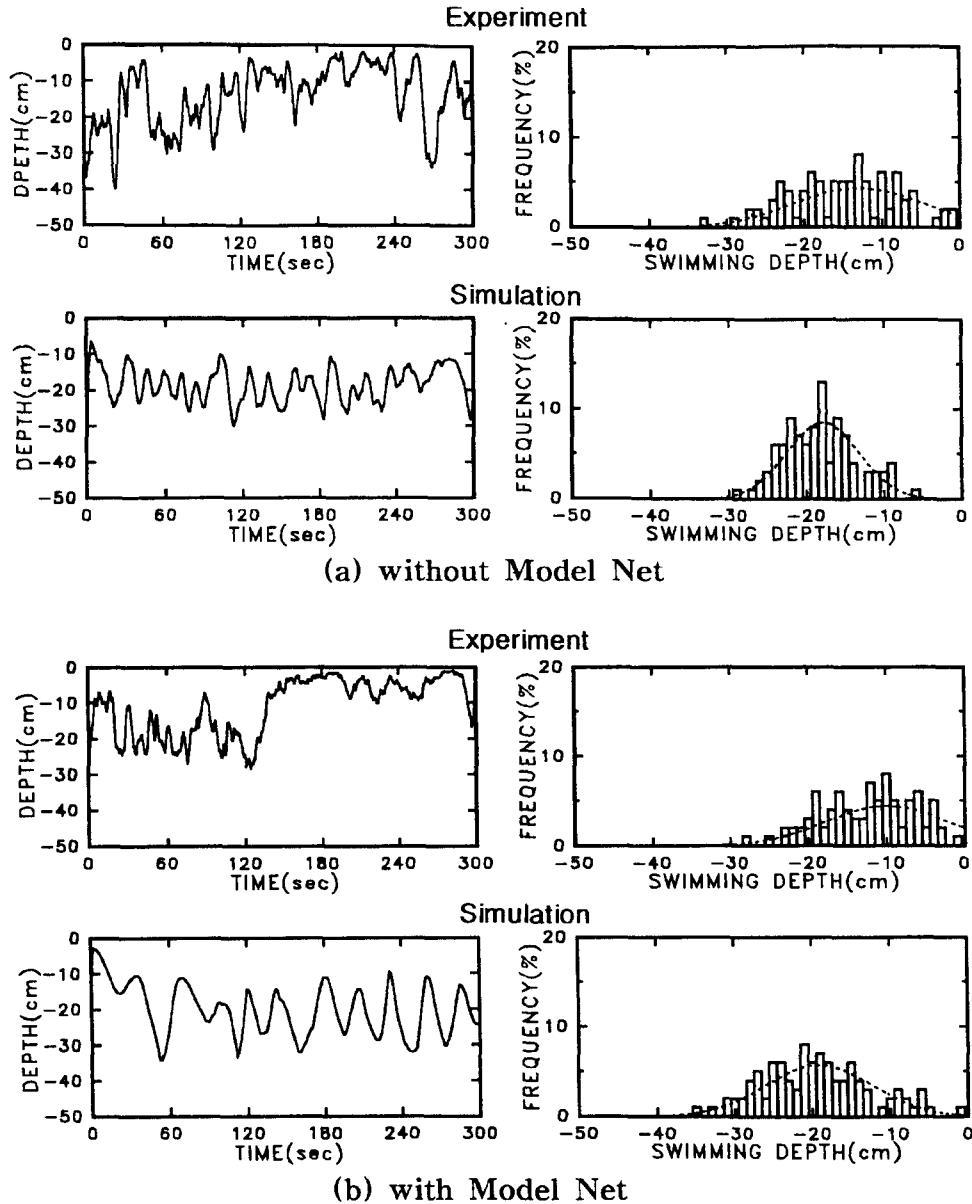


Fig. 9. Comparisons between experiment and simulation for mullet in the circular water tank on the mean swimming depth at the stagnated flow.

비교하였다.

승어에 대한 數值 모델의 파라미터를 推定하여 무지개송어에 대한 파라미터 推定値와 비교·분석하고, 魚群의 遊泳特性을 나타내는 指標에 대하여 實驗 결과와 시뮬레이션에 의한 결과를 비교하여 海産魚에 의한 數值 모델의 適合性을 檢討한

결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 승어와 무지개송어에 대한 數值 모델의 파라미터 推定値를 無次元化하여 비교한 결과에 의하면, 模型 그물이 없는 경우에는 a' 와 k_b' 의 값은 魚種間에 큰 차이가 없었으나, k_c' 의 값은 무지개송어가 크고 k_w' 의 값은 승어가 큰 것으로 나타났다.

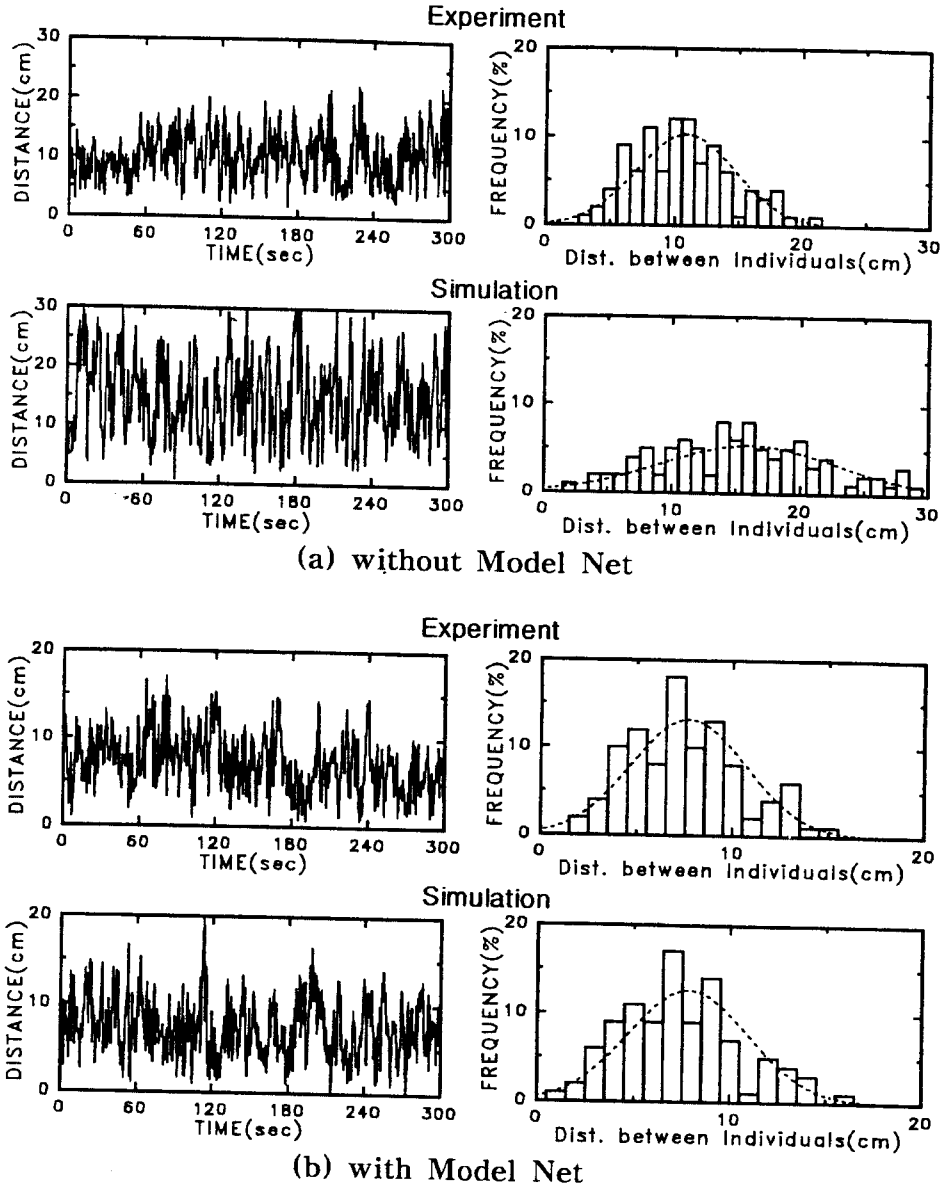


Fig. 10. Comparisons between experiment and simulation for mullet in the circular water tank on the mean distance between the nearest individuals at the stagnated flow.

2. 模型 그물이 있는 경우에는 a' 및 k_b' 의 값은 무지개송어가 송어에 비해 다소 컸으나, k_c' 및 k_w' 의 값은 송어가 큰 것으로 나타났다.

3. 無次元化한 파라미터 중 가장 큰 값을 나타낸 것은 두 魚種 모두 成群力 파라미터 k_c' 였으며, 個

體 사이의 誘引力 파라미터 k_b' 는 가장 작은 값을 나타내었다.

4. 魚群의 行動特性을 나타내는 指標로서 遊泳軌跡, 水槽 벽과 個體 사이의 距離, 遊泳速度, 遊泳깊이, 個體 相互間의 最近接距離 등에 대한 實驗

결과와 시뮬레이션에 의한 결과의 比較에서 유사한 行動特性을 나타내었으며, 특히 修正 數值 모델을 사용함으로써 魚群의 鉛直方向에 대한 運動의 再現성이 向上된 것으로 나타났다.

參考文獻

高木 力 · 梨本勝昭 · 山本勝太郎 · 平石智徳(1993) : 形状と大きさの異なる水槽内における魚群行動について. 日水誌, 59(8), 1279-1287.

金東守 · 張鎬榮 · 金錫載 · 金榮燮(1998) : 3차원 魚群行動 計測 시스템의 開發과 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究 (I). 한국어업기술학회지 34(1), 21-29.

三宮信夫 · 메ハ데イスリシラジ · 石崎一成(1986) : 水槽實驗データによる魚群行動モデルの檢討. 電子通信學會論文誌, NLP 85-48, 9-16.

梁振林(1994) : 定置網に對よる魚群行動のモデリングに關する研究. 東京水産大學 大學院 博士學位論文, pp. 106-116.

梁振林 · 松田 皎 · 三宮信夫(1992) : ウグイの水槽實驗

データによる魚群行動モデルの考察. 日水誌, 58(5), 853-860.

梁振林 · 松田 皎 · 東海 正(1994) : 定置網構造に對する魚群行動のモデリング. 日水誌, 60(2), 185-191.

李秉錡 · 李昊在 · 張鎬榮 · 金錫載(1995) : 模型 그물에 대한 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究, 模型 그물이 없는 水槽에서의 무지개송어의 遊泳特性. 한국어업기술학회지, 31(1), 74-83.

李秉錡 · 李昊在 · 張鎬榮(1995a) : 模型 그물에 대한 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究, 魚群行動을 나타내는 數值 모델의 파라메터 推定. 한국어업기술학회지, 31(4), 307-325.

李秉錡 · 李昊在 · 張鎬榮(1995b) : 模型 그물에 대한 魚群行動의 數值 모델링에 관한 研究, 魚群行動을 나타내는 數值 모델의 妥當性 檢討. 한국어업기술학회지, 31(4), 326-339.

井上 實(1985) : 漁具と魚の行動. 恒星社厚生閣, 東京. pp. 29-30.

Matuda, K., Z. Liang and N. Sannomiya(1993) : Comparison among fish species of parameters in a fish behaviour model. *ICES mar. Sci. Symp.*, 196, 103-107.