

3次元 魚群行動 計測 시스템의 開發과 魚群行動의  
數值 모델링에 관한 研究\*

Ⅲ. 現場實驗에 의한 數值 모델의 檢討

張鎬榮 · 金東守\*\* · 金榮燮\*\*\*

群山大學校, 麗水大學校\*\*, 釜慶大學校\*\*\*

(2001년 1월 29일 접수)

**Study on the Development of Three-Dimensional  
Positioning System and Numerical  
Modeling of Fish Behavior\***

**Ⅲ. Examination of the Numerical Model  
by the Field Experiment**

**Ho-Young CHANG, Dong-Soo KIM\*\* and Young-Seup KIM\*\*\***

Kunsan National University, National University of Yeosoo\*\*,

Pukyong National University\*\*\*

(Received January 29, 2001)

**Abstract**

In this paper, the several indexes represented by swimming characteristics of aquacultured red seabream, *Ochrysochrysis major* in a farming water raft(10L×10W×5H) were measured by ultrasonic telemetry. The fishes tagged by pingers were tracked by the LBL method(Shin *etc.*, 1994). The location of fishes were calculated by the hyperbolic method and the indexes were estimated by the least square method. The similarity was confirmed by the comparison between experiment and simulation on the swimming trajectory of fishes, the mean distance of individual from wall, the mean swimming speed and the mean distance between the nearest individuals.

The obtained results are summerized as follows :

1. The swimming trajectory of fishes tagged by the pingers and the swimming trajectory by the simulation for 120 minutes showed a similarity.
2. The mean swimming speed by the experiment and the simulation showed 39.2 *cm/sec* (1.4BL *cm/sec*) and 44.4 *cm/sec* (1.6BL *cm/sec*), respectively.
3. The mean swimming depth by the experiment and the simultion showed 238 *cm* and 248 *cm*, respectively.

\* 이 논문은 1997년도 교육부 학술연구조성비에 의한 연구 결과의 일부임.

4. The mean distance of individuals from wall of the farming water raft by the experiment and the simulation showed 132 cm and 129 cm, respectively.
5. The mean distance between the nearest individuals by the experiment and the simulation showed 83 cm and 61 cm, respectively.

## 序 言

最近 세계적인 200해리 체제의 이행에 따른 遠洋漁業의 위축과 沿近海에서의 水産資源의 고갈 등으로 인하여 水産業의 입지는 더욱 어려워지고 있는 실정이며, 새로운 漁業形態로서 바다의 生産力을 인위적 수단을 동원하여 효율적으로 이용하고자 하는 海洋牧場의 實用化가 요구되고 있다.

이러한 海洋牧場이나 畜養場에서는 自然의 灣등을 이용해 海域을 차단하여 魚群이 자유롭게 유영하는 상태에서 飼育하게 되는데, 魚群의 散逸防止나 誘導를 위하여서는 魚群의 행동을 推定하고 制御하는 기술이 필요하다(三宮; 1993).

魚類의 행동에 관한 情報을 얻는 수단으로서 實驗室에서는 카메라 등을 이용한 光學的인 方法으로 魚類의 행동을 촬영하여 畫像處理하는 것이 실용적이나, 現場에서는 沿岸海域에서의 물의 透明度 등을 고려할 때 光學的인 方法보다 超音波를 이용한 計測이 효과적이다.

따라서, 이 研究에서는 海上의 畜養場에서 超音波 핑거를 부착한 참돔의 遊泳行動을 遠隔計測 시스템으로 추적하여 구한 각 個體의 3차원 位置時系列 데이터로부터 계산된 遊泳特性을 調査·分析하여 畜養場에서의 魚群行動을 推定함으로써 數值 모델을 現場에 적용할 수 있는 가능성에 대하여 檢討하였다.

## 裝置 및 方法

### 1. 遠隔計測 시스템

實驗 現場에서의 魚群行動을 遠隔計測하기 위한 시스템은 신 등(1994a, b, c)의 것을 사용하였다.

實驗魚에 부착한 超音波 핑거(VEMCO Co.,

Canada)는 單純型 핑거 4개( $f=50 \text{ Hz}$ ,  $T=1,021, 1,229, 1,311, 1,598 \text{ msec}$ )와 深度型 핑거 1개( $f=50 \text{ Hz}$ ,  $T=605 \sim 1,030 \text{ msec}$ )를 사용하였다. 단, 深度型 핑거의 測定深度  $z$ 와 주기  $T$  사이의 關係式은

$$z = \frac{158.7 \times 1,000}{T} \quad (1)$$

과 같다. 여기서,  $T$ 는 펄스 주기(msec)이며, -164.2는 압력 센서의 인터셉터 값이다.

實驗 現場의 流向, 流速, 水溫, 鹽分濃度 등 海洋環境의 計測에는 신 등(1997)의 水溫·鹽分 遠隔計測 시스템에 流向 및 流速 감지 센서를 부착하여 측정하였다. 實驗時 水溫은  $15.5^\circ\text{C}$ , 鹽分濃度は  $33.07\%$ , 流速은  $6.2 \text{ cm/sec}$ , 流向은  $244^\circ$  였다.

### 2. 追跡方法

現場實驗은 1997년 11월 27일 14시부터 17시까지 경남 통영군 산양면 소재 육삼양어장(Fig. 1)의 Fig. 2와 같은 畜養槽( $10 \times 5 \times 5 \text{ m}$ )에서 실시하였다.

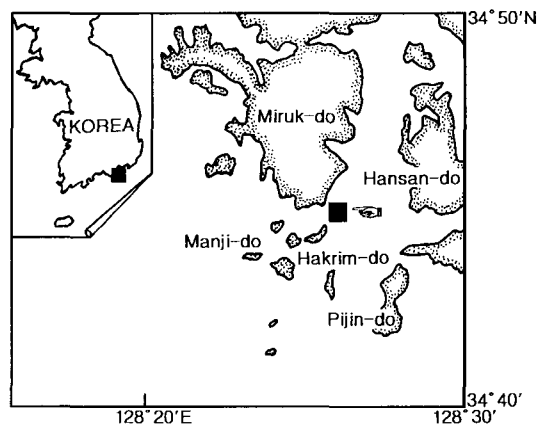


Fig. 1. Position of the fish farm cage at seawater of Tongyoung-kun.

實驗魚는 體長(body length)이 27.0~29.0 cm 인 참돔(red seabream, *Chrysophrys major*)을 사용하였다.

Fig. 3과 같이 낚시를 매단 超音波 핑거를 5마리의 참돔 아가미에 각각 걸어 放流한 후 30분이 경과한 후부터 遠隔計測 시스템으로 120분 동안의 위치를 추적하였다. 實驗魚의 위치는 超音波 핑거의 위치로 간주하였으며, 超音波 핑거의 3차원 위치는 式 (1)로부터 구한 超音波 핑거의 深度를 이용하여 LBL 방식의 雙曲線 位置決定法으로 계산하였다.

그러나, 魚群行動의 數值 모델링을 위해서는 일정시간 간격의 각 個體의 3차원 위치 時系列 데이터가 필요한데, 超音波 핑거로부터 수신되는 信號 週期가 일정하지 않기 때문에 각 個體의 위치 時系列 데이터는 일정시간 간격으로 線型補間하여

구였다.

## 結果 및 考察

超音波 핑거를 부착한 참돔의 遊泳行動을 遠隔計測 시스템으로 추적하여 구한 각 個體의 3차원 위치 時系列 데이터로부터 계산된 平均 遊泳速度, 平均 遊泳 깊이, 畜養場의 벽과 個體 사이의 平均 近接距離, 個體 相互間의 最近接距離 등의 遊泳特性을 調査·分析하고, 最小自乘法으로 數值 모델의 파라미터를 구하여 시뮬레이션에 의해 畜養場에서의 魚群行動을 推定함으로써 魚群行動 數值 모델을 現場에 적용할 수 있는 可能性에 대하여 檢討하였다.

### 1. 遊泳軌跡

超音波 핑거를 부착한 참돔을 放流하여 120분 동안의 遊泳行動을 추적한 結果에 의하면, 遊泳軌跡은 放流 후 30분이 경과한 때에는 畜養槽의 중심 부근으로 이동하는 경향을 보였으며, 주로 畜養槽의 左下 모퉁이와 右上 모퉁이의 대각선 방향으로 분포하는 경향을 나타내었다(Fig. 4a). 이것

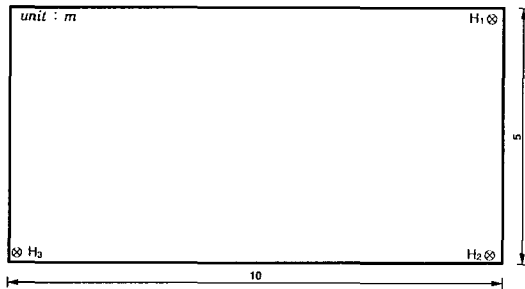
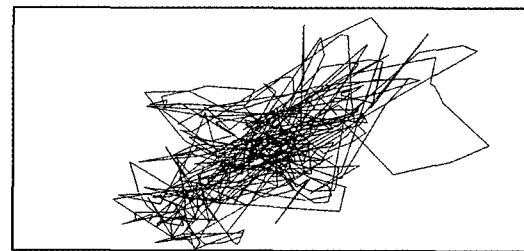


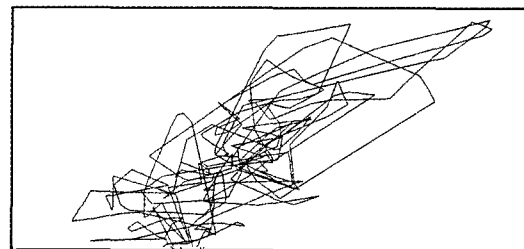
Fig. 2. Top viewed construction of the fish farm cage with the hydrophones used to track the pinger position.  
H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub> : hydrophone.



Fig. 3. Photograph of a shape that the pinger is being attached on red seabream, *Chrysophrys major*.



(a) experiment



(b) simulation

Fig. 4. Swimming trajectory of red seabream by the experiment(a) and by the simulation(b) for 120 minutes.

은 신 등(1994b)의 結果에서와 같이 潮流의 영향에 의한 것으로 생각된다.

한편, 現場實驗에 의한 遊泳軌跡과 시뮬레이션에 의한 遊泳軌跡(Fig. 4b)을 비교한 結果에 의하면, 시뮬레이션에 의한 遊泳軌跡은 現場實驗에 의한 실제 魚群의 遊泳軌跡과 類似性이 있는 것으로 나타났다.

## 2. 遊泳速度

각 個體의 3차원 位置座標의 時系列 데이터로부터 平均 遊泳速度를 계산한 結果에 의하면, Fig. 5a에 나타난 바와 같이 참돔의 遊泳速度의 最大値는 98.0 cm/sec이고 最小値는 4.5 cm/sec로서 급격한 변화를 보였으며, 平均 遊泳速度는 39.2 cm/sec (1.4BL cm/sec)로 나타났다. 이것은 신 등(1994b)에서의 45.0 cm/sec (1.3BL cm/sec)와 비교하여

큰 차이가 없었다.

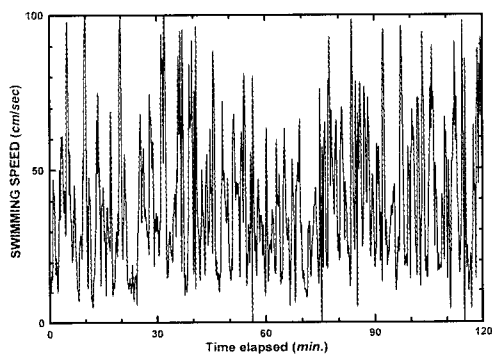
한편, 시뮬레이션에 의한 平均 遊泳速度(Fig. 5b)는 44.4 cm/sec (1.6BL cm/sec)로 나타나 實驗에 의한 結果와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

## 3. 遊泳 깊이

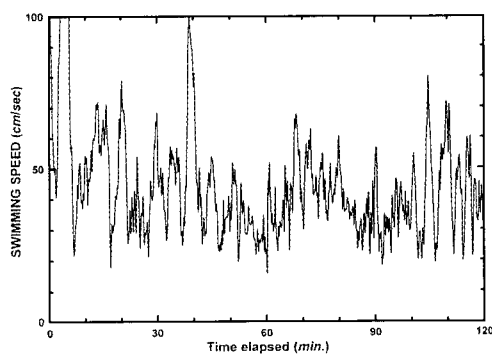
現場實驗에 의한 遊泳 깊이는 Fig. 6a에 나타난 바와 같이 最大 498 cm, 最小 10 cm로서 크게 垂直移動을 하였으나, 魚群의 平均 遊泳 깊이는 238 cm로서 주로 中層의 깊이에서 遊泳하는 것으로 나타났다으며, 시뮬레이션에 의한 結果(Fig. 6b)는 248 cm로서 큰 차이가 없었다.

## 4. 畜養場의 벽과 個體 사이의 近接距離

現場實驗에 의한 畜養槽의 벽과 個體 사이의 近

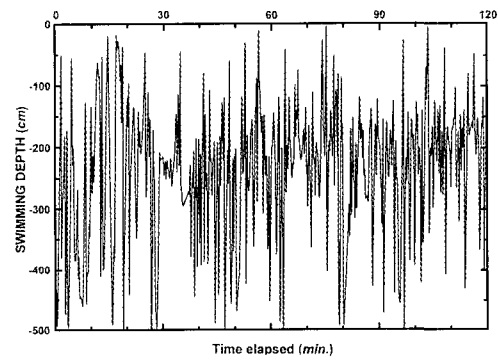


(a) experiment

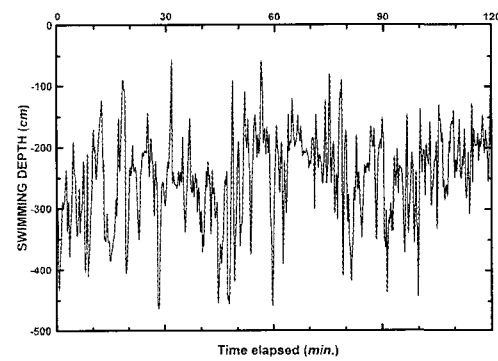


(b) simulation

Fig. 5. Variations of the mean swimming speed by the experiment(a) and by the simulation(b) ( $N_f=5$ ).

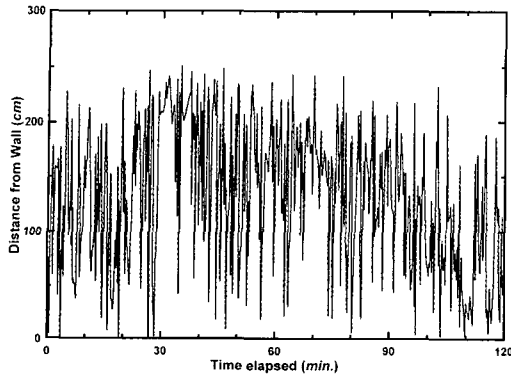


(a) experiment

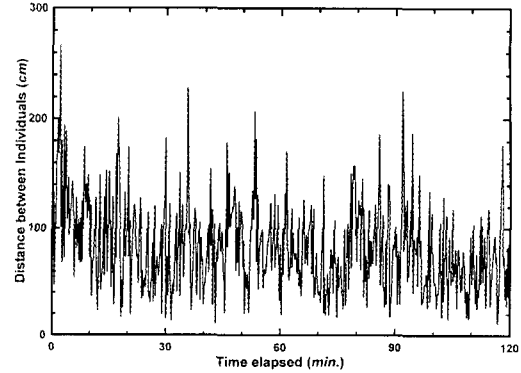


(b) simulation

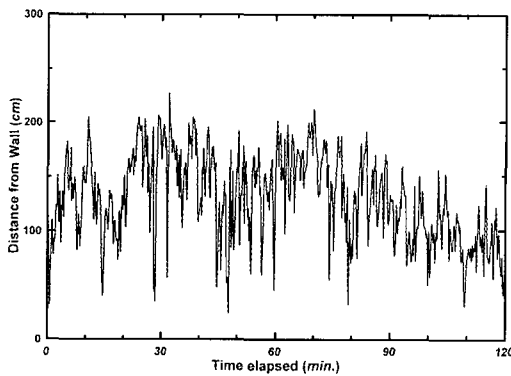
Fig. 6. Variations of the mean swimming depth by the experiment(a) and by the simulation(b) ( $N_f=5$ ).



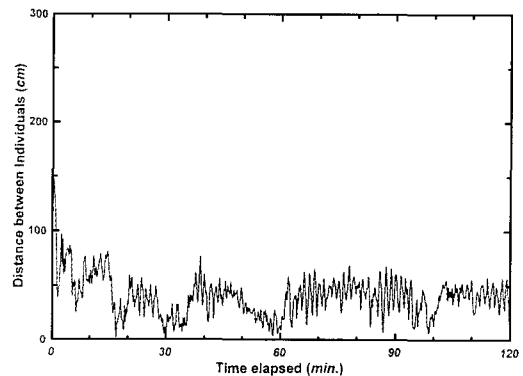
(a) experiment



(a) experiment



(b) simulation



(b) simulation

**Fig. 7. Variations of the mean distance from wall by the experiment(a) and by the simulation (b) ( $N_f=5$ ).**

**Fig. 8. Variations of the mean distance between individuals by the experiment(a) and by the simulation(b) ( $N_f=5$ ).**

接距離는 Fig. 7a에 나타난 바와 같이 最大 246 cm, 最小 3cm였으며, 平均 近接距離는 132 cm로서 體長의 4.8배에 해당하였다.

한편, 시뮬레이션에 의한 畜養槽의 벽과 個體 사이의 平均 近接距離(Fig. 7b)는 129 cm로서 비슷한 것으로 나타났다.

### 5. 個體 相互間의 最近接距離

現場實驗에 의한 個體 相互間의 最近接距離는 Fig. 8a에 나타난 바와 같이 最大 254 cm, 最小 14 cm였으며, 平均 最近接距離는 83 cm로서 體長의 3.0배에 해당하였다.

한편, 시뮬레이션에 의한 結果(Fig. 8b)는 61 cm로서 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

이상의 遊泳軌跡, 遊泳速度, 遊泳 깊이, 벽과 個

體 사이의 近接距離, 個體 相互間의 最近接距離 등의 遊泳特性을 나타내는 指標에 대하여 現場實驗에 의한 結果와 시뮬레이션에 의한 結果를 비교한 바에 의하면, 李 등(1995b) 및 張 · 李(1998) 등의 水槽實驗에 의한 結果에서와 같이 전반적으로 類似性を 나타내어 비록 海上의 畜養槽라는 제한적인 條件이기는 하나 魚群行動을 나타내는 數值 모델을 이용함으로써 魚群行動의 推定이 부분적으로 가능하게 되었다. 그러나, 이 研究에서는 實驗의 편의를 위하여 現場에서의 時間 및 水深에 따른 流向과 流速을 고려하지 않고, 停潮時 水面下 1 m 층에서의 流向 및 流速만을 고려하였기 때문에, 다양한 海洋環境의 변화 속에서의 魚群行動의 推定을 위해서는 魚群行動에 영향을 미칠 수 있는 海洋環境要素를 數值 모델에 고려해야 할 間

題點이 남아 있다. 따라서, 魚群行動을 나타내는 數值 모델을 現場에 적용하여 적절하게 魚群行動을 推定하고 制御하기 위해서는 魚群行動에 크게 영향을 미치는 海洋環境要素를 數值 모델에 고려하게 되면 現場에서의 適用可能性이 있는 것으로 생각된다.

### 要 約

海上의 蓄養場에서 超音波 핑거를 부착한 참돔의 遊泳行動을 遠隔計測 시스템으로 추적한 現場實驗의 觀測結果로부터 數值 모델의 파라미터를 最小自乘法로 推定한 結果와 正規亂數를 이용한 시뮬레이션에 의해 각 個體의 推定位置의 時系列 데이터를 구하여 遊泳軌跡, 遊泳速度, 遊泳 깊이, 蓄養槽의 벽과 個體 사이의 近接距離, 個體 相互間의 最近接距離 등의 遊泳特性을 나타내는 指標에 대해 現場實驗에 의한 結果와 시뮬레이션에 의한 結果를 比較한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 超音波 핑거를 부착한 참돔을 放流하여 120분 동안의 遊泳行動을 추적한 現場實驗에 의한 遊泳軌跡은 放流 후 30분이 경과한 때에는 蓄養槽의 중심 부근으로 이동하고, 주로 蓄養槽의 左下 모퉁이와 右上 모퉁이의 대각선 방향으로 분포하는 경향을 나타내었으며, 시뮬레이션에 의한 遊泳軌跡도 이와 유사한 경향을 나타내었다.
2. 現場實驗의 結果로부터 계산된 魚群의 平均 遊泳速度는 39.2 cm/sec (1.4BL cm/sec)였으며, 시뮬레이션에 의한 平均 遊泳速度는 44.4 cm/sec (1.6BL cm/sec)로서 實驗에 의한 結果와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
3. 現場實驗에서 計測된 魚群의 平均 遊泳 깊이는 238 cm였으며, 시뮬레이션에 의한 結果는 248 cm로서 큰 차이가 없었다.

4. 現場實驗에서 구한 蓄養槽의 벽과 個體 사이의 平均 近接距離는 132 cm였으며, 시뮬레이션에 의한 結果는 129 cm로서 비슷한 것으로 나타났다.
5. 現場實驗에 의한 個體 相互間의 平均 最近接距離는 83 cm였으나, 시뮬레이션에 의한 結果는 61 cm로서 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

### 參考文獻

- 三宮信夫(1993) : 魚群行動 모델, 시스템/制御/情報 37(12), 696~703.
- 신형일 · 이대재 · 신현옥 · 이원우 · 안장영(1994a) : 어군행동 원격감시 시스템의 개발에 관한 연구(I), 漁業技術 30(4), 263~272.
- 신형일 · 이대재 · 신현옥 · 이원우 · 안장영(1994b) : 어군행동 원격감시 시스템의 개발에 관한 연구(II), 漁業技術 30(4), 273~282.
- 신형일 · 이대재 · 신현옥 · 이원우 · 안장영(1994c) : 어군행동 원격감시 시스템의 개발에 관한 연구(III), 漁業技術 30(4), 283~291.
- 신형일 · 안영화 · 신현옥(1997) : 魚類의 棲息環境과 分布生態의 遠隔計測에 관한 研究 - I. 漁業技術 33(4), 321~333.
- 李乘錡 · 李旻在 · 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 파라미터 推定 -, 漁業技術 31(4), 307~325.
- 李乘錡 · 李旻在 · 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 -, 漁業技術 31(4), 326~339.
- 張鎬榮 · 李珠熙(1998) : 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 -, 漁業技術 34(2), 174~184.