

---

# 혼돈이론을 응용한 예망어구에 대한 어류반응 행동모델의 수중현상 시각화

박명철\* · 김용해\*\* · 하석운\*\*\*

## Underwater Visualization for Fish Behaviour Model in the Towed Fisheries using Chaos Theory

Myeong-chul Park\* , Yong-hae Kim\*\* , Seok-wun Ha\*\*\*

---

이 논문은 2000년도 해양수산부 수산특정연구과제의 지원을 받았음

---

### 요 약

수중 어류의 행동이나 현상을 예측하여 시각화하기 위해서는 어류의 탐지와 어류반응행동의 파악이 우선 이루어져야 한다. 수중이라는 다변적인 환경요인이 현장 계측을 매우 어렵게 하거나 어류의 행동이 비선형적으로 복잡하고 혼돈스러우므로 기존의 단순한 그래픽처리는 실제 수중현상간의 차이를 극복하지 못해왔던 실정이다. 이에 본 논문에서는 매우 복잡 다양한 어류행동반응의 패턴에 대하여 기존의 연구에서 제안된 혼돈이론을 응용한 어류반응행동 모델을 이용하여 시각화 도구를 제안함으로써 수중의 어류이동현상을 예측하거나 평가, 또는 보다 더 정확히 분석하는 자료를 얻을 수 있게 구현하였다. 아울러, 어탐 디스플레이를 동시에 적용하여 사용자에게 반응에 따르는 어류의 탐지상황도 제공하였다. 제안된 시각화 도구를 평가하기 위하여 현장 계측된 어류의 이동 정보와 비교한 결과, 제안된 시각화 도구는 사실성 높은 어류 행동과 시각적인 이해도를 높일 수 있음을 확인 할 수 있었다.

### ABSTRACT

The prediction and its visualization on fish behaviour in relation to fishing gear are carried out based on field detection and observation during fishing operation. However, field observation is very difficult due to variable underwater environments and accordingly due to complex, chaotic response of fish behaviour in the physiological and ecological points. Therefore simple graphic display in previous results was not enough to represent real underwater images of the fishing gear and fish behaviour. In this study more actual visualization technique was developed using by previous fish behaviour model with chaos theory in order to predict, evaluate or analyse complex and non-linear phenomena of response patterns in complex fish behaviour. In addition, display of the fish finder was also designed to simulate the underwater fish detection and distribution in fishing ground. This suggested visualization tool was very similar to the information of the fish movement in the field observation in visual underwater reality and useful to check up between simulations and observations.

### 키워드

Chaotic Behavioral Model, Visualization, Fish Movements, Towed Fishing Gear

---

\*\* 경상대학교 컴퓨터과학과 박사과정

\*\*\* 경상대학교 해양생산학과 교수, 컴퓨터정보통신연구소

\*\*\* 경상대학교 컴퓨터과학과 교수, 공학연구원 연구원

접수일자 : 2004. 3. 16

## 1. 서 론

21세기 고도산업의 선진국으로 진입하면서도 식량자원 확보라는 대명제 하에서 1차 식량산업인 어업의 중요성이 존속하는 한 합리적이고 효율적인 어류의 탐지와 수중에서의 어류반응행동의 파악이 우선 이루어져야 할 것이다. 그러나 수중이라는 변화무쌍한 환경요인이 현장 계측을 매우 어렵게 하거나 비선형적인 결과를 초래하여 수조모형 실험과 현장조업 결과간의 괴리를 극복하지 못해 왔던 실정이다. 최근에 이러한 비선형적으로 복잡하고 혼돈스러운 현상들을 연구하는 비선형과학 분야에서는 컴퓨터 모델링과 시뮬레이션 기법으로 해석하고 재현하는 시도[1,3]들이 이루어지고 있다. 시뮬레이션(Simulation) 기술이란 컴퓨터에 각종 관련 데이터를 입력하고 모델링하여 실제 물리적인 과정을 재현하는 것을 말하며, 가상현실(Virtual Reality) 기술이란 컴퓨터로 만든 3차원 가상공간에서 인간의 오감을 실현, 현실세계와 같거나 불가능한 상황까지 실제상황처럼 느끼게 만드는 고감도화상처리 기술이다. 근래에 발달된 계측기술과 수치 모델에 의한 컴퓨터 시뮬레이션의 도입으로 현장 실험이 어려운 여러 분야의 실험들이 실제에 가까울 정도로 시뮬레이션되어 자동차, 선박, 항공기 등의 수송기계분야는 물론 건축, 의학, 교육, 우주, 군사 분야에까지 전 산업분야에 응용되고 있는 실정이다.

예망은 유명하고 있는 어군에 대하여 그물을 예인하면서 자루그물 안으로 어군을 포획하는 어법이다. 이때 어군들은 접근하는 어구에 대한 자극에 민감하게 반응하여 행동반경을 달리한다. 그러나 그 반응패턴은 크게 보면 시각운동반응과 도피반응 등으로 나뉘볼 수도 있으나, 구체적인 운동요소로 분석[2]하여 보면 자극에 대한 일정한 규칙없이 혼돈스럽게 일어나므로 어류의 반응을 유추하기에는 곤란한 것이 현실이다. 어류의 운동과 그물의 차단 등에 관한 수치 모델 시뮬레이션등이 여러 가지로 수행되고 있으나 어류행동에 대한 정확한 정보를 해석하지는 못하고 있다[3,4,5]. 또한, 어획과정의 가장 기본적인 메카니즘인 혼돈행동 수치 모델링[6]과 시뮬레이션 기법은 이미 그 가능성을 확인한 바 있으나 실질적인 응용과 확인을 위한 시뮬레이션과 그 시각화는 거의 진전이 없었다. 그러므로, 어류의 혼돈행동 반응모델을 병렬처리 프로 그래밍하여 수중의 여러 변수에 따른 어군탐지, 어류반응 행동 등의 수중현상을 거의 재현하는 시각화 도구 개발의 필요성이 절실하다. 이에 여러가지 많은 요소에 민감하게 반응하는 자연현상을 분

석, 예측하기 위하여 많은 시도들이 행하여 졌다. 그 대표적인 예가 혼돈이론을 적용한 시뮬레이션 [6]이 있다.

본 연구에서는 Lorenz 혼돈이론[7]과 예망시 주 어지는 어구의 자극에 대한 어획현상을 모델링한 연구[6]을 기반하여 그 시뮬레이션 결과인 어류의 행동반응을 시각화하였다. 특히, 시각화는 자극에 따르는 벡터의 감도를 달리했을 때 어류의 행동반응을 분석하였고, 실제 현장 계측된 자료와 비교, 분석하여 최적의 가상현실을 구현하였다. 마지막으로, 어군탐지를 위한 어탐 모델링을 시각화하여 사용자로 하여금 어탐에 따르는 예망이 실시될 수 있도록 시각화 도구를 구현하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모델구축과 관련된 내용을 기술하고 3장에서는 구축된 모델을 이용하여 시각화 도구의 실제 구현을 설명한다. 4장에서는 결과 및 고찰로 제안된 도구에 대한 실효성을 검증하고 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 모델구축

예망 어업의 시각화 도구를 위한 모델의 전체적인 구성은 어류발생 모델, 혼돈행동반응 모델, 어탐 모델의 세 가지로 구성된다.

### 2.1 어류발생 모델

어종별 어류의 연령에 따른 체장과 체중의 관계는 기본 조사, 보고된 자료[8]를 인용하였으나 연령에 따른 체장 관계식은 보다 간단하게 지수식이나 자연대수식으로 표 1과 같이 다시 구하였다.

표 1. 주 대상어종의 체장, 체중 식  
Table. 1 Relevant equations on the body length and body weight for maun fishes

대상어종	체장(cm)	체중(g)
조기류	$15.7655 + 8.9666 \ln(Y)$	$0.004298(BL)3.227$
명태	$16.3123(Y)0.6348$	$0.005762(BL)2.9827$
민어	$13.2042 + 25.4389 \ln(Y)$	$0.004283(BL)3.1453$ (암) $0.005793(BL)3.0238$ (수)
멸치	$10.034(\text{연령})0.2769$	$4.0(BL)0.0032748$

※ Y는 연령, BL는 체장

본 연구의 어류발생 모델은 표 1을 바탕으로 통계학적인 랜덤분포를 그림 1과 같이 발생시킬 수 있다.

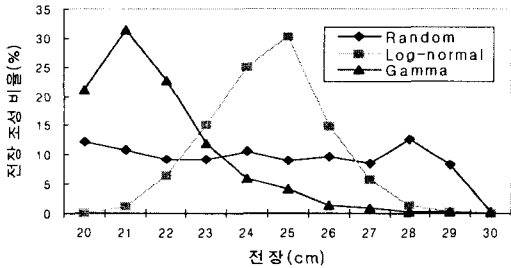


그림 1. 세 가지 무작위 분포종류에 따른 전장 조성  
Fig. 1. Frequency distribution by three kinds of random generating

여기에서 사용되는 세가지 무작위 분포도는 어류크기 분포나 어획선택성 등에 따라 결정될 수 있다. 발생 분포되는 어류의 개체별 생리생태에 따른 행동요인은 시각 예민도[9]와 유영 능력[10]의 두가지로 정의된다.

예망어구에 대한 가장 중요한 감각인 시각 예민도는 어류의 체장(BL)과 배경휘도(Lb)에 따라 시각 콘트라스트 역치(C)와 최소분해각(A)으로 아래의 식(2.1.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = C0 \exp(-HbLb - HLBL)$$

$$A = A0 \exp(-KbLb - KLBL) \quad (2.1.1)$$

이 때 C0는 콘트라스트 절편, A0는 최소분해각 절편 초기값이고, Hb, Kb는 휘도관련계수, HL, KL는 체장관련계수로써 조기류를 비롯한 5종에 대해서는 기존 조사에서부터 관계식에서 보고된 바 있으며, 그 중 체장에 따른 계수 HL, KL은 1.5 정도로 거의 같게 나타났고, 그외 각 계수의 추정치는 어종별 형태와 생태를 고려하여 표 2와 같다.

표 2. 주 어종의 시각 예민도의 식(2.1.1) 관련 계수 추정치  
Table 2. The estimated coefficients of visual sensitivity for main fishes by equation(2.1.1)

대상어종	VI	C0	A0	Hb	Kb
조기류	1.9	6.2	11.0	0.60	0.45
명태	2.4	4.7	9.0	0.60	0.45
민어	2.2	5.2	9.8	0.60	0.45
멸치	2.3	5.0	9.4	0.60	0.45

또한, 어류의 형태학적인 분류계통과 안구의 특징 등에 의하여 시각적인 지수(VI)를 표 2와 같이 추정하였고 어류의 최소분해각은 이 시각적인 지수에 비례하는 것으로 보아 식(2.1.2)와 같이 콘트라스트 역치의 초기값(C0)과 최소분해각의 초기값(A0)을 구하였다.

$$C0 = 17.32 \exp(-0.544 VI)$$

$$A0 = 22.98 \exp(-0.389 VI) \quad (2.1.2)$$

어류의 유영 능력은 유영에너지(Q)와 최대유영속도(V)로 나타 낼 수 있으며 관계식은 식(2.1.3)과 같다.

$$Q = (E0 + E1 Tw) BLn$$

$$V = (H0 + H1 Tw) BLm \quad (2.1.3)$$

어종별로 주로 체장(BL)과 수온(Tw)에 의하여 유영능력이 달라지는데 수온관련 절편 E0, H0과 수온관련 계수 E1, H1, 그리고 n, m은 체장관련 지수로써 어종별 형태와 생태를 고려하여 표 3과 같이 추정하였다.

표 3. 예망 어업 주요 어종의 유영능력 계수 추정치  
Table 3. The estimated coefficients of swimming performance for main fishes in towed fisheries

대상어종	E0	E1	n	H0	H1	m
조기류	110	55	0.85	1.7	0.26	0.45
명태	145	73	0.80	1.9	0.26	0.30
민어	145	73	0.80	1.9	0.26	0.40
멸치	140	70	0.80	1.8	0.25	0.40

## 2.2 어류의 혼동행동반응 모델

현장관찰과 수조실험의 결과 얻어진 어류의 복합반응 행동을 분석하고 그 결과를 수치모델화하는 과정에서 어류 행동 반응의 패턴이 매우 복잡 다양하여 혼돈이론을 적용하는 것이 타당하다고 보여졌다. 혼돈의 개념을 근대과학으로 표현, 발전하게 된 것은 Poincarè의 초상화 작도를 시초로 여러가지 방정식들이 발견되었으며, 그 중에서 대표적인 것들은 3차원의 Lorenz와 4차원의 Rössler의 방정식이 있다. 어구에 대한 어류의 다양한 반응 행동은 내,외부의 자극 수용과정, 의사결정과정 및 유영운동 발현작용 등의 3 단계 행동작용으로 단순화하여 자극에 의하여 작동되는 의사결정의 수차[6] 도입하여 어류의 복합반응 행동모델을 수립

하고 Lorenz형의 혼돈 미분방정식[6]으로 식(2.2.1)과 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} dR/dt &= K(W-R) \\ dW/dt &= MR-RV-W \\ dV/dt &= RW-V \end{aligned} \quad (2.2.1)$$

여기서, R은 반응비율, W는 방향전환 속도, V는 선속도로 어류의 반응행동에 적용하였고, K와 M은 어류의 내,외적인 자극과 이에 대한 어류의 감각예민도 및 유영에너지 등에 따라 변하는 상대적인 계수를 대입하여 다음 식(2.2.2)와 같이 그 계수를 Kt, Mt, Q1, Q2 로 세분하였다.

$$\begin{aligned} K &= Kt \times \cos(Q1 \times t) \\ M &= Mt \times \cos(Q2 \times t) \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

따라서, 본 어류 혼돈행동 모델은 식(2.1.1)에서의 어류의 시각 및 유수감각[12]등 어구에 반응하는 주된 감각기관의 예민도 등의 수치모델을 이용하였다. 그리고 어구의 시각자극[9]은 어구의 규격 및 색깔 등과 수중광학적 조건에 의한 어류의 상대 위치와 시각 예민도에 의하여 달라질 수 있다. 그 중 대표적인 저충트롤, 중충트롤, 기선저인망, 기선권현망 등 예망 어구에 대한 어구의 규격과 수중형상[11]에 따른 어구의 시각적 및 유수자극과 망목 크기등의 제반요인이 계수화되어 행동방정식에 적용된다. 망지의 규격에 따른 시각 자극 효과 및 와류발생 정도와 어류의 도피 및 통과 등과 어류의 유영능력 등과 의 상관관계를 어류의 복합반응 행동모델과 결부시킨 최종모델의 시뮬레이션 결과를 시각화하였다. 그 결과 본 모델은 무차원화, 단순화한 입력 자극요인들에 따라 안정되고 규칙적인 상대 유영행동에서부터 고도의 복잡적이고 혼란스러운 반응행동들의 양상을 모두 수중 가상현실에서 시각화할 수 있었다.

### 2.3 어류의 어탐 모델

어군 탐지모델의 어군탐지기는 칼러 어탐모델(SIMRAD ES-60)을 선정하고, 어군에 대한 반사 신호를 관련수식[13]으로 추산하였다. 칼러어탐의 송파기 주파수 f(KHz)이고 음속 c=1500m/s이면 파장 λ=c/f이고, 수심은 r, 송수파기 반경 a, 송수파기 방사면적 A라고 하면 송수파기 지향성 지수 DI는 식(2.3.1)과 같다.

$$DI=10\log(2\pi a/\lambda)^2 \quad (2.3.1)$$

송수파기 음향출력을 p, 변환효율 η라 하면 송파레벨 Λ (dB re 1μpa at 1m)과 수파감도 P는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Lambda &= DI+10\log(p) +170.8 \\ \Lambda 1 &= 10(\Lambda/10) \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

$$\begin{aligned} P &= 10\log(2.67 \times 10^{-22} \times A \times \eta \times r) \\ P1 &= 10(P/10) \end{aligned} \quad (2.3.3)$$

어류의 등방향 반사강도 TS(dB)은 체장 L(m), 계수를 α,β, 절편을 TSI, 후방산란 단면적 σ (m<sup>2</sup>)라 하면

$$\begin{aligned} TS &= a\log(L)-\beta \log(\lambda)-TSI \\ \sigma &= 4 \times \pi \times 10^{**}(0.1 \times TS) \end{aligned} \quad (2.3.4)$$

어류가 음축상에서 편위된 각도를 θ, 파수 k=2π/λ, J1(\*)은 제1종 Bessel 함수라 하면 지향성계수 b(θ)는

$$b(\theta) = \{2J_1(k \times a \times \sin(\theta)) / (k \times a \times \sin(\theta))\}^2 \quad (2.3.5)$$

음파의 흡수 감쇄계수 ε이라 하면, 출력전압의 실효치 Pr (V)는 식(2.3.6)과 같다.

$$Pr = \{\Lambda 1 \times P1 \times b(\theta) \times (\sigma / 4\pi) (10 - 0.2\epsilon r / r^4)\}^{0.5} \quad (2.3.6)$$

각각의 개체어로부터 송수파기에 수신되는 반사 신호의 세기 S(t)는 시간 t, 각주파수 ω(=2π/f), 반사 신호의 위상각 φ, 파형함수 So(t)이라 하면

$$S(t) = Pr \times So(t - 2r/c) \times \exp\{j(\omega(t - 2r/c) + \phi)\} \quad (2.3.7)$$

나타낼 수 있다. 이 반사신호 S(t)는 검파하여 양의 전압값 만을 취하여 각 개체어의 동일시간에 대한 반사신호를 더하고 이 값에 이득을 배수 M을 곱하여 최종 신호세기를 구하였다. 증폭시 TVG 이득특성은 거리에 따라 구현할 수 있게 하였다. 반사신호를 모니터의 칼라수 N로 변환할 때는 S(t)=2N 으로 칼러어탐에서 일반적으로 사용하는 청색에서 적색까지 8가지 색으로 구분하여 표시되도록 하였다.

### III. 시각화 도구의 구현

### 3.1 어탐영상 디스플레이

예망어선에서 어군을 찾아서 항해하는 경우의 어탐 신호 처리는 SIMRAD ES 60 칼라어탐 모델을 기본으로 하여 앞의 어류분포 발생모델과 어탐 모델에 따라 모니터 영상으로 디스플레이 된다. 이들 모델에 필요한 기본적인 연, 월, 일, 시, 분과 어탐 시작위치, 운항 정보 등을 가지고 실시간으로 어탐 화면을 표현하는 방식인데, 그 결과는 그림 2와 같다.

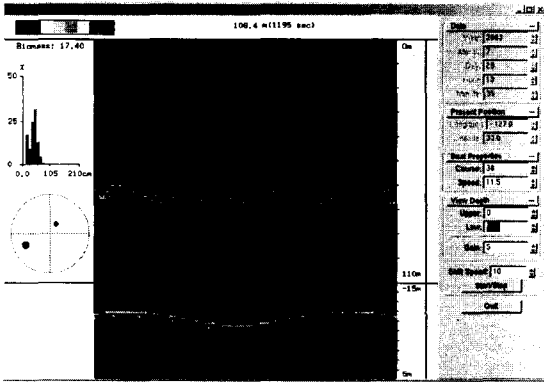


그림 2. 실시간 어탐 신호 처리 영상

Fig. 2. An example of monitor image in simulated fish finding

실시간 어탐 신호처리는 사용자로부터 낚자 및 위도, 경도, 선속과 침로 등의 다양한 정보를 입력받아 구현되는데, 그림 2의 우측에 있는 메뉴가 이러한 사용자 인터페이스 영역이다. 이 영역에서의 주요 입력은 낚자, 위도, 경도, 선속, 침로, 어탐의 상하 수심 등을 조절할 수 있다. 특히, 지형정보와 관련된 낚자와 경도, 위도 정보는 변경시에는 반드시 실행중인 어탐을 멈추고 변경하여야 한다. 실행시에는 비활성 상태를 유지하고 있다가 Start/Stop 버튼에 의해 어탐이 중지된 상태에서만 변경이 가능하다. 이는 어탐 수행의 기본적인 정보이므로 전체 어탐처리는 초기화되어 다시 시작됨을 의미한다. 그의 탐지 수심이나 이득, 화면 이동속도는 동작 중에도 사용자가 직접 수치를 조정하여 영상을 조절할 수 있다. 이는 어탐 처리과정의 상태벡터이므로 사용자가 임의로 변경할 수 있으며, 변경된 내용은 실시간으로 어탐 처리에 적용된다. 그림 2의 하단에 있는 모형은 수신된 신호의 최고수심을 기준으로 하여 상하 20m 의 어탐 결과를 상세히 보여주고 있다. 또한 좌측화면에서는 어탐이 진행되는 시점에서의 어류의 크기에 대한 분포현황을 그래프로 나타내고 있다. 아울러, 어탐의 원추형 송파빔의 제한된 원범위 내에서 감지되는 어류의 위치좌표를 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 좌측

하단 원내에 표현하고 있다. 어포부 주변의 어망감시기는 SIMRAD TE 40의 어군입망 상황의 디스플레이는 어탐 디스플레이와 동일한 알고리즘으로 그림 3과 같이 구현하였다. 망고부근의 상하부 수심조절 및 화면 수평이동속도 등은 오른쪽 버튼을 사용하여 조절할 수 있으며, 이득 조절은 화면 하단에서 가능하도록 구현하였다. 그 외에 어구계측 정보인 어구의 전개 등에 관한 전개판 간격, 망고, 날개간격, 끌줄장력 등은 어구형상 데이터로부터 실시간으로 디스플레이 하였다.

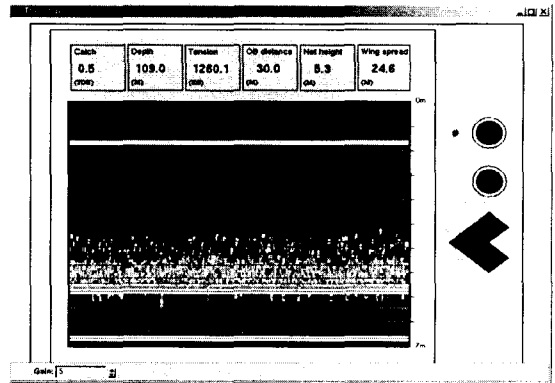


그림 3. 어망감시기 Trawl Eye 디스플레이

Fig. 3. An example display of simulated Trawl Eye

### 3.2 어류의 유영 디스플레이

4가지 주요 예망어업에서 주로 어획되는 어종들의 형태는 어류의 정지영상에서 실제 이미지를 일정한 구획으로 나누어 유영 모습이 디스플레이 되도록 구성하였다. 각 어류는 유영 좌표에 따라 이동하게 되는데, 이때 각 지느러미의 움직임으로 유영의 효과를 더 하였다. 특히, 꼬리지느러미의 이동은 x 축 좌표의 변화에 따라 좌우로 변화한다. 그러나 극소한 움직임이 있을 경우에는 효과성이 없고, 오히려 그래픽 연산에 따른 디스플레이 속도를 느리게 하면서 텍스트 과정을 복잡하게 하므로 단순히 랜덤한 변화로 구현하였다. 어류의 크기는 어류 생성정보에서 참조할 수 있지만 넓은 뷰에서 크기의 변화가 극히 미세하므로 식별하기가 어렵다. 디스플레이에서 각 어류의 크기의 차이를 볼 수 있는 것은 3차원 좌표상의 개체이기 때문에 Z 축의 차이에 따라 동일한 크기의 어류가 다른 크기처럼 보여짐을 알 수 있다. 그러므로 별도의 크기 변화는 어류 형태 디스플레이에서 생략하였다. 어류 행동 및 어획 모델로부터 시뮬레이션으로 계산된 결과가 전송되어 오는 시간대별 어류의 3차원 이동좌표와 어업 계측 정보를 기반으로 하여 수중에서의 어류 이동을 3차원 실시간으로 구현하였다.

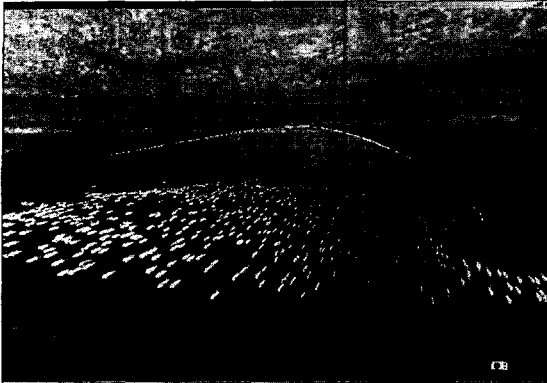


그림 5. 쌍끌이 기선저인망에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션

Fig. 5. An example of fish swimming animation from simulation of two boat seine



그림 6. 중층 트롤에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션

Fig.6. An example of fish swimming animation from the simulation of mid-water trawl

어업 계측 정보는 그림 4와 같이 실시간 데이터, 어류의 행동 실시간 3차원 좌표 등의 정보를 적용하였다.

그림 4의 어류 유영 3차원 이동좌표의 실시간 데이터를 적용하여 어류의 수중 이동 현상을 3차원 애니메이션으로 구현하였다. 클러스터 컴퓨터 시스템에서 생성된 0.5초 간격의 데이터는 일정한 시간별로 클라이언트 환경에 전송되는데 고기 번호는 어류발생모델에서 어구에 조우하게 되는 어류 각 개체마다의 고유번호로써 이 번호에 의해 각각의 고기들은 시간스텝 단위에서 구별될 수 있다. 각 축의 좌표 값은 어구형상 디스플레이와 동일하게 생성되는데, 어구 형상에 표시된 원점을 중심으로 생성된 좌표이다.

시간	고기 번호	X	Z	Y
0.5	1	62.13	-15.25	74.12
0.5	2	74.51	-15.25	87.63
0.5	3	52.86	-15.25	39.95
0.5	4	27.33	-15.25	45.91
0.5	5	-54.94	-15.25	33.46
0.5	6	-94.46	-15.18	4.78
0.5	7	35.22	-15.25	53.71
0.5	8	42.07	-15.15	23.54
0.5	9	40.94	-15.25	33.62
0.5	10	-0.58	-15.25	66.88
0.5	11	11.98	-15.25	66.34
0.5	12	97.82	-14.80	19.27
0.5	13	-92.88	-15.25	66.21

그림 4. 어류유영 3차원 이동좌표 데이터  
Fig. 4. Data of 3-D fish movements

지금까지 구현한 예망어구의 수중 형상 디스플레이

레이 결과와 어류 수중 행동 형상 디스플레이를 연동시켜서 예망어구 및 어류 행동의 3차원 수중 형상 애니메이션을 OpenGL과 C 루틴 프로그램으로 연동시켜 실시간 구현을 가능하게 하였다. 애니메이션을 실현할 때, 어류는 정지영상을 유영에 알맞게 벡터단위로 분할된 픽처 형상이며, 어구의 형상은 3차원 그래픽을 적용하였기 때문에 이들 간의 접촉에 있어서 3차원 공간 좌표의 충돌 현상을 해결하였다. 이렇게 생성된 실제 영상의 한 예로 쌍끌이 기선저인망에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션을 그림 5에 나타내었으며 현장 비디오 관찰 결과[14] 및 유영운동의 분석결과[2]와 시각적으로 유사하게 보였다. 그의 중층 트롤에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션은 그림 6과 같다.

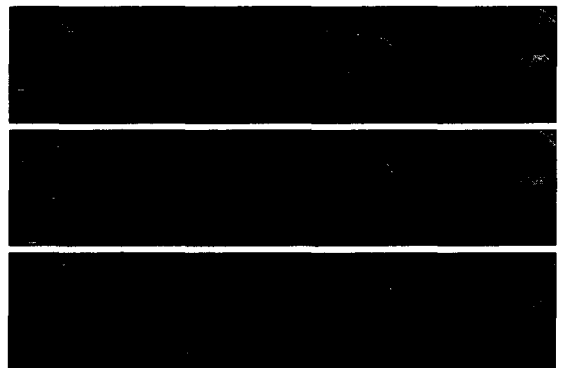


그림 7. 쌍끌이 기선저인망에서의 어류 이동 시뮬레이션 (위에서부터 100, 150, 200초 경과)  
Fig. 7. The animation by simulation of fish movements in two boat seine(top figure is 100s time elapsed, middle is 150s and bottom is 200s)

어류 데이터는 실시간으로 클러스터 컴퓨터 시스템으로부터 전송되어 오는데 클라이언트는 이를 바로 그래픽 처리하지는 않는다. 그러나, 이는 데이터의 구조적 분석을 위한 시간적인 간격으로 인해 생기는 현상이지만 사용자는 느끼지 못할 정도의 작은 지연을 가진다. 어류는 각 시간단계에 해당하는 고기의 좌표에 따라 이동하게 된다. 시뮬레이션 결과의 한 예로 쌍끌이 기선저인망에서의 참조기 반응행동 애니메이션을 어류가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간대별로 나타낸 결과는 그림 7과 같다. 그림 7의 쌍끌이 기선저인망에 대한 애니메이션은 어구의 크기가 작아 결과로 보인 각 슬라이드의 경과시간 간격을 50초 단위로 보여 주고 있다. 이는 위에서 설명한 클러스터 컴퓨터 시스템으로부터 어류 데이터를 전송 받아 애니메이션의 위한 각종 연산 작업의 수행이 실제 어류 유영을 위한 시간적인 표현영역에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

#### IV. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 클러스터 컴퓨터 시스템은 고성능 연산처리를 위한 하드웨어로 구성된다. 하드웨어로는 600 MHz Alpha 프로세서와 256MB RAM이 장착된 16개의 계산노드와 833MHz, 1GB RAM이 장착된 한 개의 주 노드로 구성되어 있다. 각 노드는 Linux 2.2.14 커널 버전으로 구동되고 있으며, 시각화를 위한 클라이언트 시스템은 클러스터 컴퓨터 시스템의 모니터링노드를 겸하여, 인텔 펜티엄 2.5GHz, 1 GB RAM, VGA 128MB, 22" LCD로 구성되어 있다. 시각화 도구의 호환성을 위하여 리눅스 환경에도 쉽게 이식될 수 있겠음, 표준 C 언어와 OpenGL로 구현하였으며, 본 연구에서는 대중성을 고려하여 윈도우 환경에서 구현되도록 하였다. 즉, 리눅스환경의 클러스터 컴퓨터 시스템에서 연산된 결과는 주기적으로 클라이언트 컴퓨터 시스템으로 전송되고 이를 실시간으로 시각화 하였다.

제안된 모델링을 통한 시각화의 사실성을 높이기 위하여 기존에 관찰, 수집된 망구부근에서의 어류행동을 녹화한 비디오에서부터 망목 통과나 구집 등의 반응행동을 시간에 따라 유영위치의 변화를 컴퓨터 영상처리방법으로 분석한 결과[6]는 그림 8과 같았다.

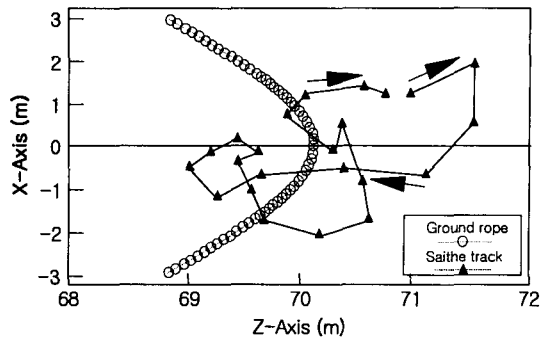


그림 8. 북해트롤 망구 부근에서의 어류 유영위치의 변화[6]

Fig. 8. The fish movements near mouth of the North sea bottom trawl from field observation

이를 어류가 어구의 그물코를 빠져나가서 도피하는 경우들과 빠져나가지 못하고 구집되는 경우에 어류의 이동위치, 이동유영속도, 이동방향 각속도 등을 정량화된 수치자료를 구한 후 모델링의 벡터를 조절함으로써 실제 상황과 근접할 수 있도록 시뮬레이션 하였다.

또한, 본 시각화의 결과와 현장조업 결과 어획정도를 일치시키기 위해서 식(4.1.1)과 같이 접근하였다. 실제 조업결과나 시각화 결과의 어획량(중량 Wt)은 어획된 개체수(Nc)의 체중(w)의 합이고, 어획된 개체수는 어구에 조우한 전체 개체수(Nt)에 어획 비율(Rc)를 곱한 것과 같다. 따라서 어구에 조우하는 전체 개체수(Nt)과 반응각도계수 C를 변화시키면 어획개체수를 제어할 수 있게 되고 실제 조업결과에 가깝게 시각화 결과를 얻을 수 있다.

$$N_c = N_t \times R_c, W_t = \sum_{N_c=1} w(N_c) \quad (4.1.1)$$

이때, 어구에 조우하는 전체 개체수(Nt)는 현장 조업결과 어획빈도 분포가 되도록 해당어업별로 감마분포 발생루틴이나 지수함수발생루틴을 사용하였다. 그 결과 그림 9와 같이 전체적인 시각화 결과는 실제 수중현상을 유추할 수 있는 도구로 사용될 수 있음을 확인하였다.

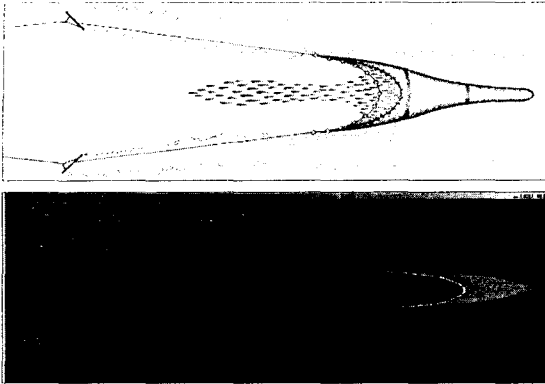


그림 9. 저층트롤에 대한 어군의 유영반응행동의 현장관찰 결과(상)(14)와 시뮬레이션 결과(하)  
 Fig. 9. Comparison of fish behaviour in relation to the bottom trawl between field observation(Top) and simulation results(Bottom)

## V. 결 론

본 연구는 혼돈 이론을 응용한 예망어구에 대한 어류의 반응행동 모델의 수중현상을 시각화 하였다. 시각화를 위해 제시된 시각화 도구들을 현장 계측된 어류의 이동 정보와 비교한 결과, 사실성 높은 어류 행동과 시각적인 이해도를 높일 수 있음을 확인 할 수 있었다. 본 연구의 결과를 가지고 어업종류, 하드웨어 및 개발된 시각화 도구 별로 다양하게 사용자 요구에 따라 시스템을 구성하여 보급할 수 있을 것이다. 향후 전문가 도구로 발전되기 위하여 어구 규격의 변경, 결과에 따르는 어획 선택성 등의 추가적인 연구가 요구되며, 전망어업 시각화 도구의 개발 등 기타 어업의 모델링과 시각화 도구 개발에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

[1] F.C.Hoppensteadt, "Analysis and simulation of chaotic systems," Springer-Verlag, p.297,1993.  
 [2] Y-H Kim, and C.S.Wardle, "Optomotor response and erratic response: quantitative analysis of fish reaction to towed fishing gears," Fisheries Research 60, pp.455-470, 2003.  
 [3] K.Matuda, and N.Sannomiya, "Computer

simulation of fish behaviour in relation to fishing gear," Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 46(6) : pp.689-697, 1980.  
 [4] N.Sannomiya, and K.Matuda, "Three tentative approaches to modelling fish behaviour in relation to fishing gears," ICES Marine Symposia, 196: pp.98-102, 1993.  
 [5] T.Satou, N.Sannomiya, H.Nakamine, and K.Matuda, "Modeling of fish behaviour in relation to moving gear," Nippon Suisan Gakkaishi, 62(5): pp.740-746, 1996.  
 [6] Y.H.Kim, "Developing a model of fish behaviour to towed fishing gear," Ph.D Thesis in the University of Aberdeen, p.280, 1996.  
 [7] N.Edward Lorenz, "On the prevalence of a periodicity in simple systems. In: A. Dold & B. Eckmann. (Eds). Global analysis," Springer-Verag, pp.53-75, 1979.  
 [8] 국립수산진흥원, "연근해 주요어종의 생태와 어장," 예문사, p.304, 1998.  
 [9] Y.H.Kim, C.S.Wardle, "Modelling the visual stimulus of towed fishing gear," Fisheries Research 34(2), pp.165-177, 1998.  
 [10] Y.H.Kim, C.S.Wardle, "Modelling of swimming ability limits for marine fish," J. Korean Soc. 30(6): pp.929-935, 1997.  
 [11] R.S.T.Ferro, "Computer simulation of trawl gear shape and loading. In: Proceedings World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessel Design," Marine Institutes, Canada, pp.259-262,1989.  
 [12] Y.H.Kim, "Modelling relative water flow and its sensitivity of fish in a towed fishing gear," Bull. of Korean Soc. of Fisheries Technology, 33(3): pp.226-233, 1997.  
 [13] 이대재, "어업계측공학," p.215, 태화출판사,1999.  
 [14] J.Main, and G.I.Sangster, "A study of the fish capture process in a bottom trawl by direct observations from towed underwater vehicle," Scott. Fish. Res. Rep. 23, pp.1-23, 1981.





**박명철(Myeong-Chul Park)**

1999년 한국방송대학교 컴퓨터과  
학과(이학사)  
2002년 경상대학교 정보과학대학  
원소프트웨어학과(공학석사)  
2003년~현재 경상대학교 대학원  
컴퓨터과학과 박사과정

\* 관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상처리, 시각화, 병렬  
프로그래밍 및 디버깅 등



**하석운(Seok-Wun Ha)**

1979년 부산대학교 전자공학과  
(공학사)  
1985년 부산대학교 대학원 전자  
공학과(공학석사)  
1995년 부산대학교 대학원 전자  
공학과(공학박사)

2002년 2월-2003년 1월: UC, Riverside 방문연구  
1993년 3월~현재 경상대학교 컴퓨터과학과 교수  
\* 관심분야 : 신경회로망, 영상처리, 컴퓨터비전



**김용해(Yong-Hae Kim)**

1981년 2월 부산수산대학 수산물  
리학과(수산학석사)  
1996년 8월 Univ. of Aberdeen,  
UK동물학과(이학박사)  
1985년 8월~현재 경상대학교 해  
양생산학과 교수

\* 관심분야 : 어류행동모델링, 어구형상 및 설계,  
수중시각화