

**혼돈행동이론과 베어울프시스템에 의한
예망어업 시뮬레이터 개발**

**Development of simulator with Beowulf system
for towing fisheries by chaotic fish behaviour**

2004. 1. 10.

경상대학교

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “혼돈행동이론과 베어울프시스템에 의한 예망어업 시뮬레이터 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 1월 10일

주관연구기관명 : 경상대학교
총괄연구책임자 : 김 용 해
세부연구책임자 : 전 용 기
세부연구책임자 : 하 석 운
연 구 원 : 정 연 수
연 구 원 : 김 봉 익
연 구 원 : 강 일 권
연 구 원 : 안 영 수
연 구 원 : 김 정 권
연 구 원 : 박 미 영
연 구 원 : 박 명 철
연 구 원 : 이 승 렬
연 구 원 : 김 영 주
연 구 원 : 김 동 식
(참여기업 어택)

요 약 문

I. 제 목

혼돈행동이론과 베어울프 시스템에 의한 예망어업 시뮬레이터 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

21세기 고도산업의 선진국으로 진입하면서도 식량자원 확보라는 대명제 하에서 1차 산업인 어업이 존속하기 위해서는 독자적인 어구설계의 기술 확립과 어로 작업의 자동 기계화가 요구되어진다. 합리적이고 효율이 높은 어업을 영위하기 위해서는 대상어류의 탐지와 수중에서의 어구 형상 등에 따른 어류반응행동의 파악이 우선 이루어져야 할 것이다. 그러나 수중이라는 변화무쌍한 환경요인이 현장 계측을 매우 어렵게 하거나 비선형적인 결과를 초래하여 수조모형실험과 현장조업 결과간의 괴리를 극복하지 못해왔던 실정이다. 최근에 이러한 비선형적으로 복잡하고 혼돈스러운 현상(Lorenz, 1995)들을 연구하는 비선형과학 분야에서는 컴퓨터 모델링과 시뮬레이션 기법으로 해석하고 재현하는 시도(Hoppensteadt, 1993)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 계측 기술과 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.

수산업 분야에서도 어류의 운동과 그물의 차단 등에 관한 수치 모델 시뮬레이션(Matuda and Sannomiya, 1980, Sannomiya and Matuda, 1993, 이 등, 1995) 등이 여러가지로 수행하고 있으나 예망어구에 대한 어류행동과 그에 따른 어구 규격 및 형상 등의 설계 요인에 관해서 까지 연관시켜 해석하지는 못하고 있다. 최근의 국내외 어업 환경은 EEZ 설정 및 자원보호와 책임 있는 어업의 체제가 강화되고 있으며, 이에 맞추어 어구에 있어서도 합리적인 규격과 구성으로 변화시켜 선택적인 자원보호형 어구가 됨과 동시에 에너지 효율이 좋은 자동기계화 어로 작업이 가능하도록 개발되어야 할 것이다. 따라서 어획과정의 가장 기본적인 메카니즘인 어구 형상(Ferro, 1988)에 관한 대망행동 특성과 혼돈행동 수치모델링(Kim, 1996)과 시뮬레이션 기법은 이미 수

년전에 그 가능성을 확인한바 있으나 현장조건에 맞는 실질적인 응용을 위해서는 고성능 컴퓨터의 고속처리가 요구되어 졌다.

최근에 컴퓨터기술 분야에 정보통신과 OS 등의 발달로 여러대의 범용 PC를 통신망으로 연결하여 한대의 병렬처리컴퓨터로 사용하는 PC Cluster (일명 Beowulf 시스템, Warren, 1998, Sterling, 1999) 기술이 개발되어 슈퍼컴급의 고성능이면서도 저가형 시스템이 개발되었다. 베어울프시스템은 가격이 저렴(메이커 슈퍼컴의 1/10정도)하고 제작이 비교적 용이하다는 장점이 있는 반면에 고속처리를 위한 병렬처리(Bake, 1997) 프로그램 유틸리티가 아직 풍부하지 못하고 프로그래밍 (William, 1999)이 복잡하고 어려운 점이 있기는 하다. 따라서 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 첨단기술인 베어울프시스템을 구성, 작동시키고 이를 어업정보처리분야에 응용하여 궁극적으로 예망어업의 시뮬레이터를 개발하므로써, 교습용은 물론 전문가 시스템으로 발전시켜 어구 개량 및 TAC 등 어업관리자의 유효한 동반자 수단으로 활용할 필요가 있다. 아울러 어로작업의 무인화를 위한 자동제어 및 인공지능 전문가시스템 (이, 2000)으로 개발되어야 할 것이다.

베어울프시스템에 의한 준슈퍼컴급의 하드웨어와 어류의 혼돈행동 반응모델을 병렬처리 프로그래밍하여 예망 어로작업의 여러 변수에 따른 어군탐지, 어구계측, 어류반응 행동 등의 수중어업 현상을 거의 재현하는 전문가시스템의 축소형인 교습용 예망어업 시뮬레이터를 개발하는 것을 목표로 연도별 연구내용은 다음과 같다.

구 분	목 표	내용 및 범위
1차 년도 (2000년)	어장환경 모델링 및 베어울프시스템 예비구성	베어울프 슈퍼컴 시스템의 예비구성 및 시험 예망어구의 수중형상과 어장환경 모델링 수중 어장환경 그래픽처리
2차 년도 (2001년)	어업의 세부모델링 및 베어울프시스템 완성, 작동	베어울프 시스템의 전체구성 및 환경구축 어류의 혼돈행동 및 어획 모델링 예망어구의 3차원 수중형상 디스플레이
3차 년도 (2002년)	통합모델의 시뮬레이션 및 애니메이션	최종시스템의 작동실험 및 최적화 세부모델의 통합, 병렬프로그래밍 및 시뮬레이션 어탐신호 디스플레이와 어획현상 애니메이션

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

(1) 베어울프시스템 개발

다음과 같은 1년차 연구항목에 대해서는 거의 수행하여 기본적인 시스템 구축기술을 축적하였으며, 2년차에는 다음에 열거하는 연구항목에 추가하여 참여기업 연구원과 협력하여 3년차 연구항목의 일부분인 시스템의 성능분석과 최적화 연구도 조기에 완료할 수 있도록 진행할 예정이다.

1차 년도: 핵심 기능을 위한 프로토타입 시스템 개발

- 가) 시스템 설계 명세 개발
- 나) 프로토타입 시스템 하드웨어 구축 (10 node 알파 CPU 시스템)
- 다) 프로토타입 시스템에 프로그래밍 서브시스템 구축
- 라) 프로토타입 시스템의 운영 및 통신 서브시스템 구축

2차 년도: 최종 시스템 하드웨어와 프로그래밍 환경 구축

- 가) 프로토타입 시스템을 위한 커널프로그램 개발 및 수행 실험
- 나) 프로토타입 시스템의 관리 서브시스템 구축 및 성능 분석
- 다) 최종 시스템의 통신 하드웨어 설계 및 구축
- 라) 최종 시스템의 프로그래밍 서브시스템 및 디버깅 환경 구축

3차 년도: 최종 시스템의 성능분석 및 최적화

- 가) 최종 시스템에서의 시뮬레이터 및 애니메이터 디버깅
- 나) 최종 시스템의 운영 및 통신 서브시스템 구축 및 수행 성능 분석
- 다) 최종 시스템의 관리 서브시스템 구축 및 테스트
- 라) 최종 시스템의 튜닝 및 문서화

(2) 예망어업 모델링 및 시뮬레이션

예망어업의 시뮬레이터 개발을 위한 모델의 개략적인 구성은 어장환경모델, 어업생물 모델, 어탐모델, 어선운항모델, 어구형상모델, 행동자극모델, 혼동반응모델, 어획모델 등의 하부 모델 등으로 구성되며, 예망업종을 저층트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권현망 등을 대상으로 주대상 어종을 선정하여 연차적인 연구 내용은 다음과 같다.

1차년도 : 어구형상 및 어장환경모델

- 가. 현장조업자료 수집 및 분석
- 나. 어구설계도 입력 프로그램 개발
- 다. 예망어구 수중형상 모델
- 라. 어장의 물리적 환경 모델
- 마. 수중 광학 환경 모델

2차년도 : 어류행동 및 어획모델링

- 가. 어업생물 발생모델
- 나. 어구별 행동자극모델
- 다. 어종별 혼동반응모델
- 라. 어구별 어획모델
- 마. 현장조업과의 비교 및 검증

3차년도 : 통합모델링 및 시뮬레이션

- 가. 어탐모델
- 나. 어선 운항모델
- 다. 세부모델의 통합
- 라. 통합모델의 시뮬레이션
- 마. 시뮬레이션 결과의 검증

(3) 그래픽 및 애니메이션

1차 년도 : 수중환경 그래픽 처리

- 가. 그래픽 및 애니메이션 환경 설정
- 나. 개발프로그램 선정
- 다. 해저환경의 영상처리
- 라. 해저 Sand Cloud 디스플레이

2차 년도 : 예망어구의 3차원 수중형상 그래픽

- 가. 데이터 압축처리 및 입출력
- 나. 어구의 3차원 수중형상 그래픽 애니메이션
- 다. 어구형상 계측기의 디스플레이

3차 년도: 어류행동의 애니메이션

- 가. 어류형태 및 유영 디스플레이
- 나. 어류의 수중공간 이동 애니메이션
- 다. 어탐신호 처리 및 디스플레이
- 라. 통합시뮬레이터의 디스플레이 구성

IV. 연구개발 결과

본 연구과제는 베어울프 클러스터시스템에 의한 준슈퍼컴급의 하드웨어와 어류의 혼돈행동 반응모델을 병렬처리 프로그래밍하여 예망 어로작업의 여러 변수에 따른 어군탐지, 어구계측, 어류반응 행동 등의 수중어업 현상을 거의 재현하는 전문가시스템의 축소형인 교습용 예망어업 시뮬레이터를 개발을 최종목표로 하였다. 따라서 1차년도에는 베어울프 시스템의 예비구성 및 시험, 예망어구의 수중형상과 어장환경 모델링 및 수중어장환경 그래픽처리를 수행하였고, 2차년도에는 최종시스템의 성능시험을 거쳐 병렬처리 시뮬레이션이 작동되도록 하면서, 예망어업 모델의 관련 세부모델들을 병렬 프로그래밍하고 시뮬레이션하며, 그 결과들의 어류유영과 어구형상 등의 그래픽 애니메이션을 완성하였다. 최종 3차년도에는 총 16노드 알파클러스터 시스템의 최종 성능분석 및 관리운영체제를 구축하고, 2차년도까지의 세부모델과 어탐모델 등 예망어업의 통합모델을 시뮬레이션하고 이결과를 디스플레이하고 애니메이션하여 윈도우상에서 교습용일 경우의 어탐항해모델, 어구형상모델, 어획과정 모델 (예망시간 1시간에 어류개체수 3천미 이하이며 어구모델의 축소형일 경우)의 시뮬레이션을 각각 2개의 모니터로 실시간으로 구현할 수 있게 되었다. 따라서 실질적인 세 개의 시뮬레이션 모듈은 컴퓨터의 가상 현실하에서 실시간으로 구현이 가능하므로 충분히 교습용 예망어업 시뮬레이터로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 1시간 예망에 9천미 이상의 전체변수를 적용하는 전문가형일 경우 본 클러스터 시스템에서의 어획현상 계산시간만도 4시간이상이 소요되었다. 물론 앞으로 CPU의 계산속도가 4배이상 빨라지면 거의 모든 모듈의 시뮬레이션이 실시간으로 구현될 수 있을 것이며, 아울러 본모델들의 세부적인 계수들의 최적값을 찾아내서 보정한다면 예망어업의 인공지능화를 지향하는 전문가용 시스템으로의 확장이 가능할 것이다.

V. 연구개발결과의 활용계획

(1) 본 연구 결과를 가지고 산업화할 경우에는 어업종류(저층트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권현망 등), 하드웨어(클러스터노드수 및 통신장비 등) 및 개발된 소프트웨어의 종류 (어구형상, 어종별 행동모델, 그래픽 애니메이션 등) 별로 다양하게 사용자 요구에 따라 다양하게 시스템을 구성하여 보급할 수 있을 것이다.

(2) 따라서 본 시스템의 실용화, 산업화 기종은 크게 데모용, 교습용, 전문가용의 3가지로 다음과 같이 구성, 보급할 수 있을 것이다.

㉠ 데모용: 단일 PC 시스템에 선택된 어업종류 및 조업조건에 따른 시뮬레이션 결과 데이터를 다수 (조업회수 단위) 적재하고 그래픽 애니메이션을 실행하여 고정된 화

면의 디스플레이에 한정되나 홍보용 및 간단한 교육용으로 저가에 보급할 수 있을 것이다.

㉔ 교습용: 업종별 선택한 어구에 대한 어로작업조건을 입력하고 어획과정의 어류 행동 시뮬레이션을 수행하고 계산결과를 디스플레이 할 수 있으며, 1회 조업당 계산시간은 하드웨어 구성에 따라 달라질 수 있다. 단일업종의 어업관련회사나 수협 등에서 어획성능 분석, 어선 및 어로작업 관리, 어선해기사 또는 어로기사 등의 교습용으로 활용토록 보급할 수 있을 것이다.

㉕ 전문가용: 보급용에 추가하여 위에서 열거한 업종들에 대한 어구 규격의 변경, 입력이 가능하고 시뮬레이션 결과의 어획선택성 분석이 가능하며, 어구설계조립 관련 회사, 전개판 설계 제작회사, TAC관련 정책자문 및 결정, 연구기관 등에서 어구설계 및 어업자원관리 연구용으로 활용이 가능하며, 하드웨어 구성에 따라 다양하게 보급이 가능할 것이다.

(3) 시작품 활용 : 본 연구에서 구축된 알파클러스터 시스템은 공학 계산용으로 우수한 성능을 가지고 있으므로 시스템 렌탈, 본 예망어업 모델의 시뮬레이션 대행, 결과 송부 등으로 시스템을 활용할 수 있을 것이다. 또한 준수퍼컴을 필요로 하는 수산. 해양분야의 정보처리 및 수치계산 모델링 등에 범용으로 활용이 가능할 것이다. 사용료 징수가 가능하며, 이 경우에는 실험실 벤처기업으로 활용이 가능할 것이다.

(4) 추가연구: 본 예망어업 시뮬레이터 연구개발이 거의 성공적으로 완료되었으므로 본 베어울프 클러스터 시스템을 사용하여 선망어업 시뮬레이터 개발 등 기타 어업의 모델링에 활용할 수 있다.

S U M M A R Y

Subject: Development of simulator with Beowulf system for towing fisheries by chaotic fish behaviour

A fishing simulator for towed fisheries was investigated in order to mimic the fish capture process or investigate fishing selectivity or fisheries management. A fish behaviour model using a psycho-hydraulic wheel activated by stimuli is established to introduce Lorenz chaos equations and a neural network system in order to generate the components of a realistic fish capture process. This study is applied to four different towed gears using the Alpha cluster computer system as Fortran MPI parallel programming. The results of the simulation can be represented as animation of fish movements in relation to fishing gear using Open-GL and C graphic programming as well as catch data and selectivity analysis. The results of this simulator mimicked closely the field studies of the same gears and can therefore be used in indoor training systems and expert system after further study.

1. Hardware and OS

It is important to have an economical system that can process enormous data with high computing performance to develop a simulator to be used widely for capture process in a towed fishing gear. For this purpose, a Linux cluster system was built on 16 node Compaq-Alpha processors (21264, master: 833MHz, slave: 600MHz, RAM: 256MB) connected through high-speed Ethernet (3COM, 10/100Mbps) by switching hub(24 port Intel Express), and an operating environment (Linux RedHat) for communicating and managing the resources and jobs in the system, and for FORTRAN programming in MPI (Message Passing Interface). The system performances have been evaluated in the following three aspects:

The performance of communicating installed with VIA (Virtual Interface Architecture) was maximum 100 Mbps and visualization tool was developed to detect message race in parallel computation of MPI. Computing tasks of the 16 node Alpha cluster in this study defined by published NAS benchmark programs

achieved 1205Mflops for LU (Lower-Upper diagonal benchmark) and 1095Mflops for BT(Block-Tridiagonal Benchmark). These performances of the Alpha cluster (600MHz) were similar to the Intel Pentium cluster (1.5GHz) which can be upgraded by recent model more than 3GHz. The algorithm of kernel benchmark for chaotic fish behaviour model was designed using MPI function with calculation time step.

2. Modelling and simulation

A simulator for towed fisheries was developed and established using a cluster computing system, capable of modelling the chaotic fish behaviour and create the underwater visualization of fish movements and 3-D gear geometry. The selected towed fishing gears were the North Sea 4-panel bottom trawl for haddock (*Melanogrammus aeglefinus*), midwater trawl in the North Pacific Ocean for walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*), two boat bottom seine in the East China Sea for yellow croaker (*Pseudosciaena manchurica*) and two boat surface seine for anchovy (*Engraulis japonica*). The main sub-models of the grand model of the simulator for the capture process were those generating sea bed and sand cloud, generating random fish, fishing gear geometry, stimuli of the gear, chaotic response model, capture process model etc.

(1) Generating fish

The body length and weight for the selected fish species were reformulated as power equation or exponential equation with year from the previous data. The size of fish can be generated by random distribution, normal distribution or Gamma distribution etc as mean and deviation for the specific frequency of the fish school. Once fish size as body length is decided, sensitivity of vision, swimming ability and water flow sensitivity could be decided.

The sensitivity of vision in each fish species was represented by a contrast threshold and a minimum resolvable angle in relation to body length and background luminance to decide visibility and visual stimulus of the fishing gear. The swimming energy and maximum burst swimming speed as fish swimming performance were estimated considering ecological and physiological similarity as body length and water temperature in relation to fish species.

(2) Chaotic fish behaviour model

The fish behaviour model involved chaos activated by the so-called psycho-hydraulic wheel in order to generate realistic responses to fishing gear stimuli. The basic equations for the chaotic behaviour model adopted by Lorenz (1979) were derived as three of the variables which are R proportional to the strength of the response to the stimulus, W proportional to the angular velocity of fish and V proportional to the swimming speed of fish. The parameter k is the coefficient of response filtering which varied between 1-6 as a normalized value derived from the distance ratio between fishes or between net and fish, swimming energy reserve of fish and variation of visual contrast to net. The parameter m is the coefficient of stimulus which varied between 5-20 as a normalized value and was derived from internal and external stimulus, stamina of fish swimming and panic behaviour index. The main factors of this behaviour model are number of encountering fish, distance coefficient between fishes, angular movement coefficient, equation parameter m, number of mesh knot for fish herding.

(3) Simulation and validation

The catch ratio as caught fish to total encountering fish in front of the fishing gear with the angular coefficient C in the North Sea bottom trawl is logarithmically increased from 0.07 to 0.99 (correlation coefficient $r^2=0.89$). The catch ratio with number of haddock from 200 to 5000 is linearly increased from 0.49 to 0.75 ($r^2=0.87$). The catch ratio with distance coefficient between fish from 1 to 3 as multiply of body length shows a U-like shape from 0.53 to 0.83. The other coefficients have little affect on the catch ratio.

The catch ratio by simulation in the North Sea 4 panel bottom trawl for haddock was varied from 7% to 100% when $C=0.7\sim 2.0$, the midwater trawl in the North Pacific Ocean for walleye Pollock was 48~90% when $C=0.2\sim 2.4$, the bottom two boat seine in the East China Sea for yellow croaker was 20~90% when $C=0.3\sim 1.5$ and the surface two boat seine for anchovy was 80~90% when $C=0.1\sim 1.5$. The frequency distribution of the body length or the frequency ratio in relation to position of escape along the length of the fishing gear could be represented for relevant species and relevant gear using this simulation.

There was no significant difference by a paired T-test for frequency ratio

between field observation and simulated results in either relative swimming speed or angular velocity. The comparison of neighbour distance ratio between field observations and two simulation results for haddock showing an optomotor response mainly in front of the net mouth are not significantly different and they do not show normal distribution. Therefore the distribution of catch frequency ratio from the data of field studies of the commercial fisheries for the four selected towed fishing gears can be simulated by total encountering fish, angular coefficient, fish interval coefficient etc.

3. Display and animation of the simulator

Goal of this study is to implement 3-dimensional underwater appearance graphical display of the fishing ground, sand cloud and fishing gear geometry, and animation for fish movements as fish capture process based on chaotic behavior model as well as ship handling, navigation and fish finder model. It is essential to compose user interfacing and realistic description of image scenes from the enormous data of fish movements tracks calculated from Alpha cluster system.

OpenGL was used as a graphic programming tool with generalized powerful API functions that is revealed distinguished performances in operation efficiencies and result-representation methods for graphic procedures and applicable for most host languages and most OS such as Linux or Windows. Therefore, in this study, we implemented graphical representations and animations of the simulator by using OpenGL together with C routines programming.

The main menu of the fishing simulator was designed for 3 options such as navigation and fish finding, fishing gear geometry and fish capture process. The sub menu in navigation and fish finding can be displayed ship handling, bridge monitor and fish finder as real time. The sub menu of gear geometry can be displayed input dialog box for fishing gear design and 3-D geometry on up to 3 kinds. The sub menu for fish capture process can be operated animation of fish movement as capture process, animation of the trawl eye and results of catch. Examples of the resultant animations of the four kinds of fish in each towed gear can be played in the website <http://mirbada.gsnu.ac.kr>.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction of study project	16
Section 1. Necessary of the study	16
1. Technical points	16
2. Economic and industrial points	17
3. Social and cultural points	17
Section 2. Purposes	17
Chapter 2. Technical Status of on the study	18
Section 1. Status and problems on this subject	18
1. Abroad case	18
2. Domestic case	18
Section 2. Future trend	18
Chapter 3. Beowulf cluster system and OS	20
Section 1. Beowulf system organization	21
1. Computing nodes	21
2. Communicating structure	22
3. System installation	23
Section 2. Beowulf system operation	26
1. Communication architecture	26
2. Managing environments	28
3. Programming environments	30
Section 3. Beowulf system performances	32
1. Communication performance	32
2. Parallel computing performance	35
3. Simulator performance	39
Chapter 4. Modelling and simulation of towed fisheries	42
Section 1. Field fishing data and analysis	43
Section 2. Input of fishing gear and 3-D geometry	45
1. Estimation of fixed point as towing point	46
2. Estimation of codend drag	47
3. Input of fishing gear	48
4. Geometry of the codend	50
Section 3. Physical model of fishing ground	52
1. Water temperature in fish migration	52
2. Salinity in fish migration	54
3. Underwater optical model	54
4. Generating sea bed and sand cloud	55
Section 4. Modelling of towed fisheries	58
1. Generating model fish	58
2. Model of fishing gear stimuli	63
3. Model of chaotic fish behaviour	66

4. Fish behaviour analysis in the codend	68
5. Chaotic response of fish species	69
6. Model of fish capture process by fishing gear	73
Section 5. Validation between field fishing and simulation	75
Section 6. Modelling of fishing boat cruising	77
Section 7. Generating fish distribution	78
1. Migration of mackerel	79
2. Migration of sea bream	80
3. Migration of blackthroat seaperch	80
4. Migration of croceine croaker	81
5. Migration of yellowtail	82
6. Migration of hairtail	83
Section 8. Model of fish finder	85
1. Model of fish finder	85
2. Model of trawl eye	86
Section 9. Integration of sub-models	87
Chapter 5. Graphic and animation of the towed fishing simulator	89
Section 1. Display of the underwater environments	89
1. Setting the graphic environments	89
2. Selection of developing software	90
3. Display of the underwater fishing ground	90
4. Display of the underwater sand cloud	91
Section 2. Display of the navigation and fish finding	96
1. Operation of ship handling and bridge monitor	96
2. Animation of the fish finder	97
3. Animation of the trawl eye	99
Section 3. Display of the 3-D geometry of the towed fishing gear	100
1. Compression and communication of the data	100
2. Input fishing gear design	100
3. Display of the 3-D geometry of the towed fishing gear	102
Section 4. Display of the fish capture process	106
1. Display of fish image and swimming	106
2. Animation of the fish movements	107
Section 5. Display of simulator monitor	114
Chapter 6. Achievement and contribution of this study	117
Chapter 7. Application plan of this study results	119
Chapter 8. Scientific and technical information	120
Chapter 9. References	121

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	16
제 1 절. 연구개발의 필요성	16
1. 기술적 측면	16
2. 경제·기술적 측면	17
3. 사회·문화적 측면	17
제 2 절. 연구개발의 목표	17
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
제 1 절. 국·내외 관련연구의 현황과 문제점	18
1. 외국의 경우	18
2. 국내의 경우	18
제 2 절. 앞으로 전망	18
제 3 장 베어울프 클러스터 시스템 및 OS	20
제 1 절. 베어울프 시스템의 구성	21
1. 계산노드의 구성	21
2. 통신 하드웨어의 구성	22
3. 시스템 구성	23
제 2 절. 베어울프 시스템의 운영	26
1. 통신 소프트웨어 구조	26
2. 시스템의 관리 환경	28
3. 프로그램 개발 환경	30
제 3 절. 베어울프 시스템의 성능	32
1. 통신성능의 평가	32
2. 병렬처리 성능의 평가	35
3. 시뮬레이터 성능의 평가	39
제 4 장 예망어업 모델링 및 시뮬레이션	42
제 1 절. 현장조업자료 수집 및 분석	43
제 2 절. 어구설계도 입력 및 예망어구 수중형상	45
1. 예인 고정점 간격의 추산	46
2. 어포부저항의 추산	47
3. 자료입력 방법	48
4. 어포부의 형상	50
제 3 절. 어장의 물리적 환경모델	52
1. 회유경로에 따른 수온변화	52
2. 회유경로에 따른 염분변화	54
3. 수중광학 모델	54
4. 저층 빨물 발생 모델	55
제 4 절. 예망어업 모델링	58
1. 어류발생모델	58
2. 어구별 자극모델	63

3. 어류의 혼돈행동 반응 모델 개요	66
4. 어포부에서의 어류행동 분석	68
5. 어종별 혼돈반응행동	69
6. 어구별 어획 모델	73
제 5 절. 조업결과 검증비교	75
제 6 절. 어선운항모델	77
제 7 절. 어류분포 발생모델	78
1. 고등어의 회유 경로	79
2. 돔의 회유 경로	80
3. 눈볼대의 회유경로	80
4. 부세 회유경로	81
5. 방어회 회유경로	82
6. 갈치의 회유경로	83
제 8 절. 어탐 모델	85
1. 어탐 모델링	85
2. 어망감시기 (Trawl Eye) 모델링	86
제 9 절. 세부모델의 통합	87
제 5 장 예망어업 시뮬레이터의 그래픽 및 애니메이션	89
제 1 절. 수중환경 그래픽 처리	89
1. 그래픽 및 애니메이션 환경 설정	89
2. 그래픽 및 애니메이션 개발 소프트웨어 선정	90
3. 해저 환경의 영상처리	90
4. 해저 빨물(Sand Cloud) 디스플레이	91
제 2 절. 어선운항 및 어탐 신호 처리 및 디스플레이	96
1. 어탐 영상 디스플레이	96
2. 어선 운항 브리지 모니터	97
3. 어망감시기 (Trawl Eye) 디스플레이	99
제 3 절. 예망 어구의 3차원 수중 형상 디스플레이	100
1. 데이터 압축 처리 및 통신	100
2. 어구설계 규격 입력	100
3. 어구의 3차원 수중 형상 그래픽	102
제 4 절. 어획과정의 3차원 수중 형상 그래픽	106
1. 어류의 형태 및 유형 디스플레이	106
2. 어획과정의 애니메이션	107
제 5 절. 통합 시뮬레이터의 디스플레이 구성	114
제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	117
제 7 장 연구개발결과의 활용계획	119
제 8 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	120
제 9 장 참고문헌	121

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

21세기 고도산업의 선진국으로 진입하면서도 식량자원 확보라는 대명제 하에서 1차 산업인 어업이 존속하기 위해서는 독자적인 어구설계의 기술 확립과 어로 작업의 자동 기계화가 요구되어진다. 합리적이고 효율이 높은 어업을 영위하기 위해서는 대상 어류의 탐지와 수중에서의 어구 형상 등에 따른 어류반응행동의 파악이 우선 이루어져야 할 것이다. 그러나 수중이라는 변화무쌍한 환경요인이 현장 계측을 매우 어렵게 하거나 비선형적인 결과를 초래하여 수조모형실험과 현장조업 결과간의 괴리를 극복하지 못해왔던 실정이다. 최근에 이러한 비선형적으로 복잡하고 혼돈스러운 현상 (Lorenz, 1995)들을 연구하는 비선형과학 분야에서는 컴퓨터 모델링과 시뮬레이션 기법으로 해석하고 재현하는 시도 (Hoppensteadt, 1993)들이 수행되고 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 계측 기술과 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.

수산업 분야에서도 어류의 운동과 그물의 차단 등에 관한 수치 모델 시뮬레이션 (Matuda and Sannomiya, 1980, Sannomiya and Matuda, 1993, 이 등, 1995) 등이 여러가지로 수행하고 있으나 예망어구에 대한 어류행동과 그에 따른 어구 규격 및 형상 등의 설계 요인에 관해서 까지 연관시켜 해석하지는 못하고 있다. 최근의 국내외 어업 환경은 EEZ 설정 및 자원보호와 책임 있는 어업의 체제가 강화되고 있으며, 이에 맞추어 어구에 있어서도 합리적인 규격과 구성으로 변화시켜 선택적인 자원보호형 어구가 됨과 동시에 에너지 효율이 좋은 자동기계화 어로 작업이 가능하도록 개발되어야 할 것이다. 따라서 어획과정의 가장 기본적인 메카니즘인 어구 형상 (Ferro, 1988)에 관한 대망행동 특성과 혼돈행동 수치모델링(Kim, 1996)과 시뮬레이션 기법은 이미 수년전에 그 가능성을 확인한바 있으나 현장조건에 맞는 실질적인 응용을 위해서는 고성능 컴퓨터의 고속처리가 요구되어 졌다.

최근에 컴퓨터기술 분야에 정보통신과 OS 등의 발달로 여러대의 범용 PC를 통신망으로 연결하여 한대의 병렬처리컴퓨터로 사용하는 PC Cluster (일명 Beowulf 시스템, Warren, 1998, Sterling, 1999) 기술이 개발되어 슈퍼컴급의 고성능이면서도 저가형 시스템이 개발되었다. 베어울프 시스템은 가격이 저렴 (메이커 슈퍼컴의 1/10정도)하고 제작이 비교적 용이하다는 장점이 있는 반면에 고속처리를 위한 병렬처리 (Bake, 1997) 프로그램 유틸리티가 아직 풍부하지 못하고 프로그래밍(William, 1999)이 복잡하고 어려운 점이 있기는 하다. 따라서 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 첨단기술인 베어울프시스템을 구성, 작동시키고 이를 어업정보처리분야에 응용하여 궁극적으로 예망 어업의 시뮬레이터를 개발하므로써, 교습용은 물론 전문가 시스템으로 발전시켜 어구 개량 및 TAC 등 어업관리자의 유용한 동반자 수단으로 활용할 필요가 있다. 아울러 어로작업의 무인화를 위한 자동제어 및 인공지능 전문가시스템 (이, 2000)으로 개발되어야 할 것이다.

2. 경제 · 산업적 측면

초보적인 외제 어업시뮬레이터들은 가격대 성능이 낮은 반면에 현장관찰 등에 입각한 학문적 배경이 취약하므로 실제 수중의 어업상황을 재현할 수 있는 산업분야에 실용이 가능한 시뮬레이터가 개발되어야한다. 이러한 시뮬레이터의 개발에는 고속병렬처리가 가능한 고성능컴퓨터가 필수적이며, 범용의 PC Cluster 기법으로 저가에 조립, 제작이 가능한 베어울프 클러스터 시스템이 적격이라 할 수 있으며, 아울러 기타 수산, 해양분야의 다양한 정보처리를 위한 고성능 슈퍼컴이 절대적으로 필요하다.

3. 사회 · 문화적 측면

기본적으로 본 연구과제는 수산, 해양분야 정보화를 촉진함과 동시에 힘들고 위험이 상존하는 작업인 해상 업종의 교육, 훈련을 컴퓨터 시뮬레이터 교육으로 대체할 필요가 있다. 또한 수중해양환경의 애니메이션으로 수중가상현실을 재현, 첨단화함으로서 일반 대중의 수산, 해양산업에 대한 접근을 용이하게 하면서 21세기 미래 해양산업에 대한 그릇된 인식을 불식시킬 필요가 있다.

제 2 절 연구개발의 목표

베어울프시스템에 의한 준슈퍼컴급의 하드웨어와 어류의 혼돈행동 반응모델을 병렬처리 프로그래밍하여 예망 어로작업의 여러 변수에 따른 어군탐지, 어구계측, 어류 반응 행동 등의 수중어업 현상을 거의 재현하는 전문가시스템의 축소형인 교습용 예망어업 시뮬레이터를 개발한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련연구의 현황과 문제점

1. 외국의 경우

어업시뮬레이터는 노르웨이 Norcontrol (1989)사에서 1980년대에 어구의 수중형상이나 어류반응행동등에 대한 관찰 또는 이론 등에 관한 모델링이 없이 단순한 컴퓨터 그래픽에 의존하여 상품으로 출시하였으나 성능이 조잡하고 고가격으로 거의 보급되지 못하고 사장되었다. 현재는 러시아의 Transas (1998)사에서 항해시뮬레이터에 옵션으로 어업시뮬레이터 기능을 제공하고 있다. 그러나 그 성능은 노르웨이제와 마찬가지로 어구의 수중형상이나 어류반응행동 등에 대한 관찰 또는 이론 등에 관한 기초 모델링이 약한 것으로 보이며 조업시 어선운항에 부수적인 기능에 국한된 것으로 보인다. 일본에서 연구된 예망어구에 대한 어군행동 (Satou, 1996)을 물리운동의 역학방정식에 입각하여 기초적으로 수행하였으나 물리모델의 제한점 등으로 초보적인 어군반응행동을 도시하는데 그치고 있다. 따라서 이상의 외국의 연구나 상품화된 어업시뮬레이터들은 어구의 3차원수중형상과 어류반응행동의 애니메이션으로 다양한 수중환경과 어구종류에 따른 어획효율과 어획선택성 등을 구현하지는 못하고 있다.

2. 국내의 경우

컴퓨터를 이용한 증층트롤의 설계소프트웨어 (이 등, 1997)에 관해서는 CAD의 개념으로 개발되어 어구의 수중형상을 수치해석적인 방법으로 도시하고 있으나, 어구형상에 따른 어류반응행동과 어획과정의 모델링 및 시뮬레이터에 관해서는 거의 개발된적이 없는 실정이다. 예망어구의 3차원수중형상과 어류의 혼돈반응행동을 모델링하여 다양한 수중환경과 어구종류에 따른 시뮬레이션으로 어획효율과 어획선택성 등에의 응용가능성 등은 본 연구책임자가 그 기초적인 세부모델링과 알고리즘을 컴퓨터 프로그래밍하여 알파 워크스테이션(600MHz)에서 제한적으로 작동되고 있으나, 실시간으로 실용화되기 위해서는 이보다 약 50배 이상 고속으로 처리되어야 할 것으로 사료된다.

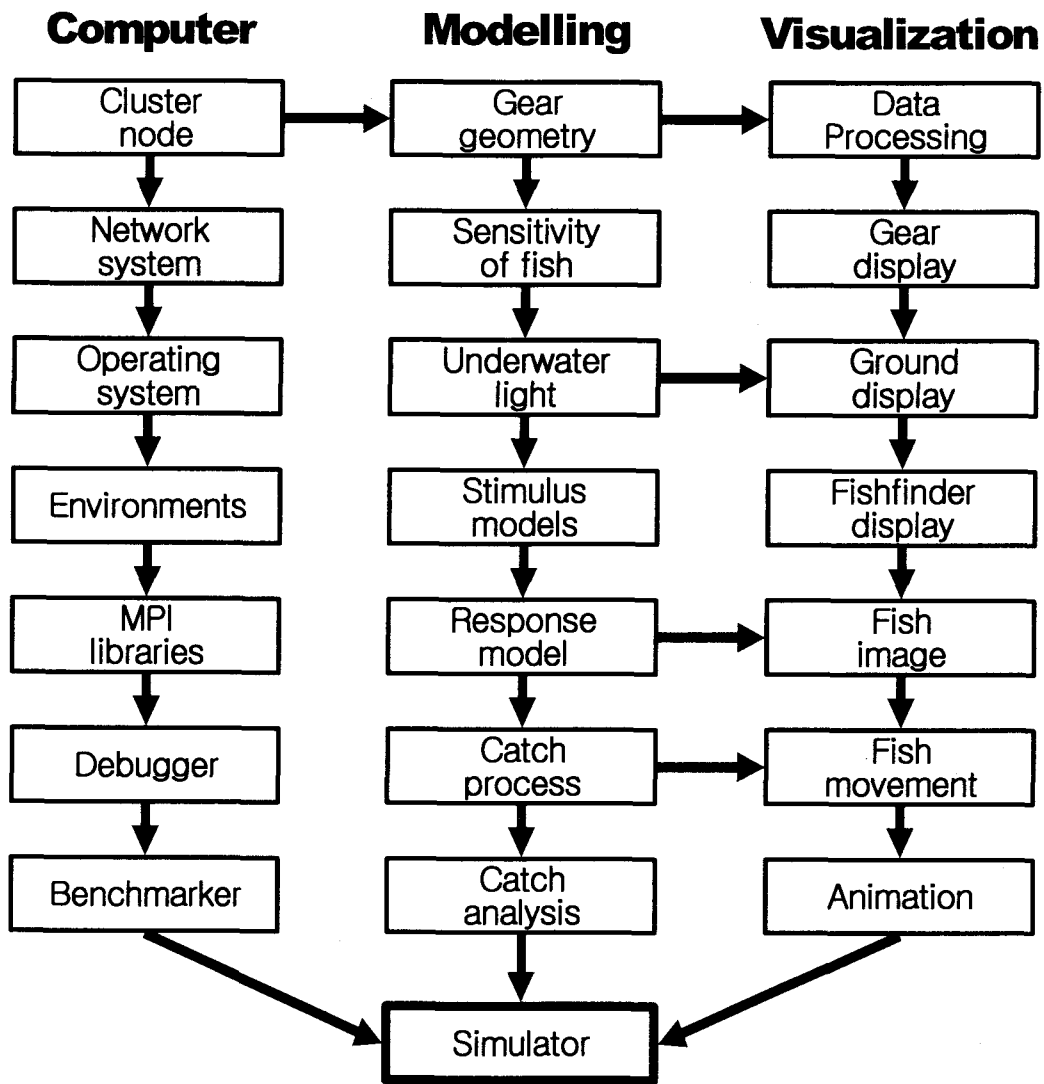
제 2 절 앞으로 전망

현재 국내에서도 산업분야의 교육 및 전문가 시스템에 해당하는 시뮬레이터

개발에는 자동차시뮬레이터, 항공기시뮬레이터, 선박시뮬레이터, 탱크시뮬레이터 등이 개발 중에 있고, 항해운용 시뮬레이터는 외국에서 여러 기종이 상용화 보급되고 있다. 따라서 앞으로 수중세계의 가상현실기술을 채용한 어업 교습용 시뮬레이터와 수중생태계의 가상현실 시뮬레이터가 도입될 것으로 예상된다. 또한 산업적으로는 현장조업과 같이 위험하고 힘들고 실물시험에 고비용이 드는 분야는 전문 어업용 시뮬레이터를 이용하여 사전에 예측조사를 실시함으로써 시험조업을 대폭 줄일 수 있을 것이다. 앞으로 수산, 해양분야에서도 첨단 시뮬레이터 기술과 메카트로닉스 기술을 도입, 개발하게 되면 인공지능 채용의 자동어로작업제 어기로 발전하여 무인, 무망어업의 시대로 진입할 가능성이 열릴 것이다.

제 3 장 베어울프 클러스터 시스템 및 OS

본 연구의 예망어업 시뮬레이터 개발은 <그림 1>과 같이 전체적인 구성을 하고, 크게 3개 세부연구과제인 베어울프 클러스터 시스템의 하드웨어와 OS분야, 예망어업 모델링분야 및 수중 그래픽 애니메이션 분야에 대한 연구수행 내용 및 결과는 각각 다음과 같다.



<그림 1> 예망어업 시뮬레이터의 구성.

본 세부연구 과제에서 최종적으로 개발, 구축된 베어울프 시스템은 고성능 연산처리를 위한 하드웨어와 시스템 소프트웨어로 구성된다. 하드웨어로는 600 MHz Alpha 프로세서와 256 MBytes 주 기억장치가 장착된 16개의 계산 노드와 833MHz, 1GB RAM이 장착된 한 개의 주 노드로 구성되며, 이들을 연결하기 위해서 100 Mbps Fast

Ethernet 카드를 사용하였다. 시스템 소프트웨어로는 각 노드의 기본적인 운영을 위해서 설치된 Linux 2.2.14 커널, 통신 효율을 개선하기 위해서 커널에 이식된 VIA(Virtual Interface Architecture) 구조, 클러스터 자원 및 작업의 관리를 위해서 설치된 PBS(Portable Batch System), bWatch, Cheops 등의 도구들, 병렬 수행 및 프로그래밍 환경을 위해서 설치된 MPICH 1.2.3 버전 등이 있다. 그리고 최종적으로 구축된 시스템의 성능은 예망어업 커널 벤치마크, NAS 병렬 벤치마크, Netperf 벤치마크 프로그램 등을 이용하여 평가하였다.

제 1 절 베어울프 시스템의 구성

본 연구팀이 최종적으로 구축한 베어울프 시스템은 16개의 64-bit Alpha 노드를 하나의 독립된 고성능 통신 시스템으로 연결한 고계산용 클러스터 시스템(Buyya, 1999, Dowd & Severance, 1998)이다. 본 절에서는 이러한 시스템을 구성하는 각 계산 노드의 특징 및 성능에 대해서 소개하고, 계산 노드들을 연결하는 통신 구조에 관해서 설명한 후에, 마지막으로 Linux 운영체제를 기반으로 하는 각 노드들을 연결하여 베어울프 시스템을 구축하는 과정을 소개한다.

1. 계산 노드의 구성

고성능 예망어업 시뮬레이터를 위해서 구축된 베어울프 시스템(김 등 2002, 오,정, 2000)은 부동소수점 연산 위주의 처리 특성을 고려하여 가격대 성능비와 시스템의 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있도록 <표 1>과 같이 구성하였다.

<표 1> 최종 시스템의 하드웨어 규격

구분	구성요소	모델명
Processing Node	CPU	Alpha-21264+ 2 MB Cache 주 노드: 833 MHz, 계산노드: 600 MHz
	Memory	KTC6615/128 (KINGSTON 374-128 ECC) 주 노드: 1GB RAM 계산노드: 256MB RAM
	Main Board	UP-2000, 1000
Communication System	Switch	Intel 410T Switch
	NIC	3Com 3C905B (10/100 Fast Ethernet)

먼저 각 노드의 CPU는 복잡한 수치계산이 많은 예망어업 시뮬레이터에 적합한 Alpha-21264+ 프로세서로서, SPEX의 산업 성능 테스트에서 동일한 클럭 속도를 가지는 다른 프로세스에 비해서 수행속도가 약 2.5배 빠른 것으로 평가된 바가 있다. 메모

리는 신뢰성 및 안정성을 위해서 1-bit 오류의 보정능력이 있는 ECC RAM으로 선택하였으며, 메모리의 전체 용량은 2개의 128 MB RAM로써 256MB를 구성하였다. 그리고 메인보드로는 Alpha 프로세서 및 클러스터의 성능을 안정적으로 지원할 수 있는 Alpha 프로세스 전용 메인보드인 UP-1000으로 구성하였다. 이외에 기타 주변장치로는 노드간의 통신 부하를 줄이기 위해서 각 노드에 40 GB 하드 디스크를 장착하였고, 관리 및 실험의 편리성을 위해서 52 배속의 CD-ROM, 1.44 FDD, Networkterface Card (NIC) 등을 각 노드에 설치하였다.

본 시스템에 탑재된 Alpha 프로세서는 1500 만개의 트랜지스터가 집적되고 클럭 주파수가 600 MHz인 Alpha-21264+ 모델이다. 21264+ Alpha 칩은 한 번에 64-bit 데이터를 처리하고, RISC(Reduced Instruction Set Computer) 형의 명령세트를 사용하는 고성능 프로세서로 그 특징은 다음과 같다. 첫째, 21264 RISC 구조는 명령어 구조가 단순하기 때문에, CISC보다 명령어 처리속도가 빠르고, 프로세서 회로가 간소하다는 장점이 있다. 둘째, 21264의 64-bit 대역폭과 2 MB에 이르는 대용량의 캐쉬 메모리는 비슷한 클럭 속도를 가지는 다른 프로세서의 처리 속도보다 2~6 배 정도의 속도 증진을 가능하게 한다. 마지막으로, 프로세서의 병렬 연산 기능을 제공하는 파이프라인은 Alpha-21264의 부동소수점 계산능력을 향상시킨다.

Alpha-21264 프로세서를 탑재한 UP-1000 메인보드는 초당 10 억번 이상의 부동소수점 연산을 수행할 수 있는 고성능 보드이다. 이 보드는 AMD 사의 chipset을 기반으로 메인보드의 표준규격인 ATX 표준에 따라 설계되었으며, 1 GFlops 이상의 성능을 발휘하므로, 고성능의 부동소수점 연산 능력이 필수적인 첨단 과학기술 관련 분야에서 저비용 고성능의 슈퍼컴퓨터 시스템 구축에 적합한 메인보드이다. UP-1000에 장착될 수 있는 Alpha-21264 프로세서는 L2-cache 메모리가 2 MB이고 600 MHz 클럭 속도를 가지는 모델이나, L2-cache 메모리가 4 MB이고 700 MHz 클럭 속도를 가지는 모델이다. 본 연구에서는 L2-cache 메모리가 2 MB이고 600 MHz의 클럭 속도를 가지는 Alpha-21264+ 프로세서를 장착하였다.

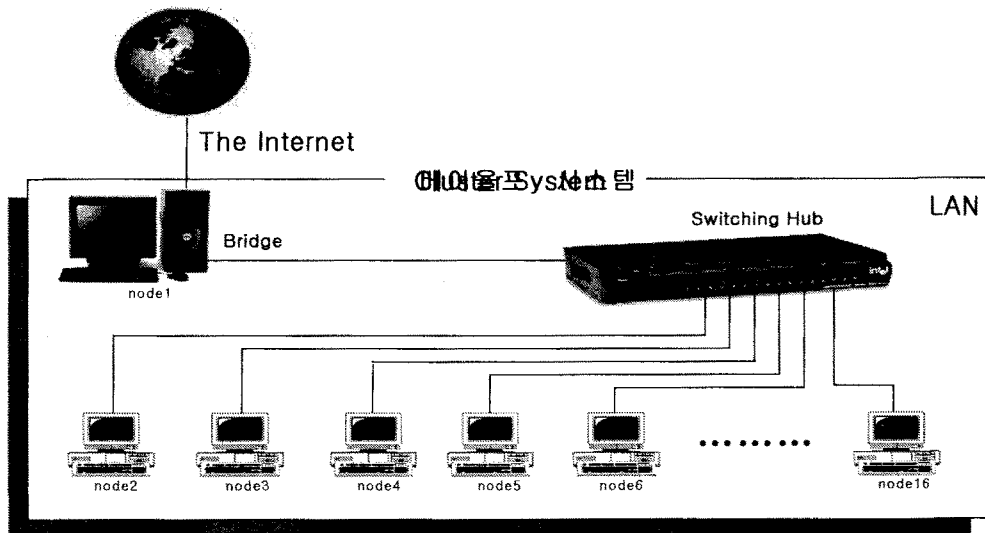
2. 통신 하드웨어의 구성

본 시스템의 계산 노드들을 연결하는 통신 구조는 100 Mbps 대역폭을 가진 Fast Ethernet으로서, 각 계산 노드들에 장착되는 Ethernet NIC들과 이들을 연결하는 switching hub로 구축하였다.

Fast Ethernet은 링크 수준에서 최대 100 Mbps의 대역폭을 가진다. Fast Ethernet NIC을 제공하는 대표적인 업체로는 3Com, Intel, Realtek 등이 있는데, 본 시스템에서는 신뢰성과 호환성이 우수한 3Com 제품을 선택하였다. NIC 규격은 클러스터 공급업체, Alpha 프로세서를 이용한 클러스터 구축 사례, 삼성종합기술원의 Alpha-11 프로젝

트의 하드웨어 구축 사례 등을 고려하여 3Com 3C905B Cyclone 100Base로 구축하였다. 그리고 노드들 간의 연결 구조는 port 당 최대 100 Mbps를 지원할 수 있는 24-port Intel-Express switch hub로 하여 100 Mbps의 통신 능력을 최대한 활용하고 노드의 확장성을 고려하고자 하였다. switch hub에서 특정 노드로 전달하는 패킷은 그 노드에만 전달되고 다른 port로는 전달되지 않아서 전송 속도를 효과적으로 유지할 수 있다. 그리고 본 시스템에 설치된 410T switch hub 모델은 그 설치가 쉬울 뿐만 아니라, 모든 연결 장치의 속도, 예비 기능, 흐름 제어 등을 자동으로 일치시키는 10/100 자동 조정 port를 갖추고 있다. 또한 통신량이 폭주하는 경우에도 각 사용자에게 전용 100 Mbps 성능을 제공하여 고속 통신망을 별도로 구성할 수 있게 한다.

최종적인 베어울프시스템의 통신 구조는 <그림 2>와 같다. 16개의 Alpha 노드에 사설 IP 주소를 설정하고 switching hub로 연결함으로써 독립된 사설 네트워크를 구축하였다. 그리고 하나의 지정된 중계(bridge) 노드에는 공인(public) IP 주소를 설정하여 외부 네트워크와 연결이 가능한 네트워크로 구성함으로써, 본 연구에서 개발된 예망어업 시뮬레이터가 웹 서비스를 제공할 수 있게 함과 동시에 원거리에서도 개발된 베어울프 시스템의 작동이 가능하게 하였다.



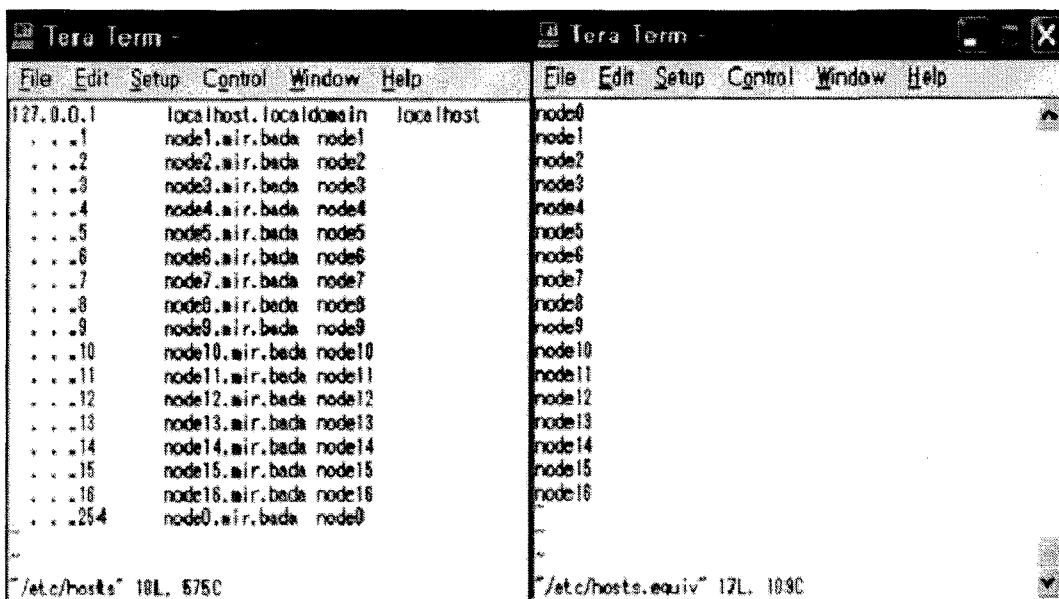
<그림 2> 최종 베어울프 클러스터 시스템의 통신구조.

3. 시스템 구성

본 베어울프 시스템의 각 노드는 모니터 없는 본체만으로 구성되며, 16개의 본체를 시스템 cabinet에 순서대로 장착하였다. 그리고 각 노드의 NIC에 Ethernet cable을 연결하고, 이 케이블을 다시 노드간의 통신을 위한 switch hub에 연결하였다. 또한 외부 망과의 통신을 위해서 외부 망과 연결된 케이블도 switch hub에 연결하였고, 외부

인터넷과 통신을 하기 위해서 중계 노드에 두 개의 NIC를 장착하였다. 여기서 하나의 NIC는 내부 통신을 위해서 사용하고 다른 하나는 외부 통신을 위해서 사용하게 하였다. 중계 노드는 다른 계산 노드들보다 성능이 좋은 833 MHz Alpha 프로세서와 1 GBytes의 주 기억장치로 구성하였다. 또한 16개의 계산 노드를 감시 및 제어하기 위한 감시(monitring) 노드를 추가적으로 연결하였는데, 이 노드는 2.5GHz Pentium와 1 GBytes의 주 기억장치로 구성하였다. 각 노드의 입출력을 위한 키보드와 모니터 단자는 8 port 모니터 공유기 2대에 연결하여, 하나의 키보드와 모니터로 모든 노드의 입출력을 제어하도록 구성하였다.

각 노드의 운영을 위한 소프트웨어로는 공개 운영체제인 Linux를 선택하였으며, 배포판으로는 Alpha용 RedHat 6.2를 설치하였다. 운영 소프트웨어가 설치된 후에는 각 시스템이 시동될 때 NIC를 인식할 수 있도록 설정하고, 각 노드에 사설 IP 주소를 할당하였다. 노드간의 통신을 위해서 수정해야하는 시스템 파일은 '/etc/hosts', '/etc/hosts.equiv', '/사용자계정/.rhosts' 등이다. '/etc/hosts'에서는 사설 네트워크 망에서 접근이 가능한 모든 노드들의 IP를 등록하고, '/etc/hosts.equiv'에서는 remote shell을 허용하는 노드들의 목록을 등록한다. 그리고 remote shell을 사용하는 사용자는 각 계정 디렉토리 아래에 '.rhosts' 파일을 생성하여 'hosts.equiv'와 동일한 내용으로 설정한다. 본 시스템의 환경 파일에 대한 실례는 <그림 3>과 같다. 시스템 환경 파일의 설정이 완료된 후에, 노드들 간에 통신이 원활히 이루어지는가는 확인하기 위해서 remote shell 명령어인 rsh을 이용한다. 예를 들어, 중계 노드에서 'rsh node2 date'라 입력했을 때 node2의 시간이 화면에 나타나면 중계 노드와 node2 사이의 통신은 원활하다고 할 수 있다.



<그림 3> 본 클러스터 최종 시스템 환경 설정 파일.

본 시스템에서 프로그램 개발용 언어로는 수치계산에 우수한 Fortran을 선정하였으며, 이를 위해서 Alpha 시스템에 최적화된 Compaq-Fortran V1.2를 각 노드에 설치하였다. Compaq-Fortran은 RedHat Package Manager (RPM) 파일로 제공되며, 각 RPM 파일은 순서대로 설치해야 한다. 본 시스템에 설치된 Compaq-Fortran RPM 파일을 설치하는 순서대로 소개하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 본 시스템에 사용한 Compaq Fortran 종류

RPM 파일	내용
libots-2.2.7-n.alpha.rpm	컴파일러 지원 라이브러리
cpml_ev6-5.1.0-n.alpha.rpm	수학 라이브러리
cfalrtl-1.2.0-n.alpha.rpm	Compaq Fortran 런타임 라이브러리
cfal-1.2.0-n.alpha.rpm	Compaq Fortran 컴파일러
cxml_ev6-5.0.0-n.alpha.rpm	확장된 수학 라이브러리
ladebug-4.0.65-n.alpha.rpm	Compaq 디버거

Fortran 설치가 완료되면, 병렬 프로그램용 개발 언어를 설치한다. 병렬 프로그램용 개발 언어로는 배어울프 시스템과 같은 분산처리 시스템에 적합한 MPI(Message Passing Interface)(Ong & Farrell, 2000)를 선택하고, 이를 구현한 MPICH(Ong & Farrell, 2000) V1.2.3을 각 노드에 설치하였다. MPICH를 설치하기 위해서는 'http://www.mcs.anl.gov/mpi/mpich'에서 'mpich.tar.gz' 파일을 다운로드 받아서 압축을 풀어야 한다. 본 시스템을 위한 MPICH의 설치과정은 다음과 같다.

- ① **tar xvzf mpich.tar.gz** - 현재 디렉토리에서 mpich.tar.gz 압축 파일을 푼다. 그러면, mpich-1.2.3 디렉토리가 생성되고, MPICH 소스코드를 확인할 수 있다.
- ② **cd mpich-1.2.3**
- ③ **./configure --prefix=/usr/local/mpich -fc=fort -f90=fort** - 환경 체크 및 설정 단계이다. MPICH가 설치될 디렉토리는 /usr/local/mpich이고, MPICH에서 연동할 Fortran77과 Fortran90 컴파일러는 Compaq Fortran인 fort이다.
- ④ **make** - MPICH 소스코드를 컴파일하여 실행파일 생성한다.
- ⑤ **make install** - 생성된 실행파일들을 /usr/local/mpich 디렉토리로 복사한다.
- ⑥ **cd /usr/local/mpich/share**
- ⑦ **vi machines.LINUX_ALPHA** - 환경파일 수정 단계이다. 파일에 MPI 프로그램 수행에 참여할 노드들의 이름들의 목록을 입력한다.

설치를 종료한 후에 MPICH의 실행여부를 확인하기 위해서는 mpich/examples 디렉토리에 있는 예제 프로그램들 중에서 cpi.c를 홈 디렉토리로 복사해 온다. 그리고

mpicc 명령을 이용해서 cpi.c를 컴파일하고, 생성된 실행 파일을 각 노드에 복사한다. 이때 복사될 위치는 현재 cpi의 실행파일이 있는 위치와 동일해야 한다. 복사가 된 후에는 mpirun 명령을 이용해서 cpi를 수행하는데, 이때 결과 값을 볼 수 있으면 클러스터가 구축된 것이다. 본 시스템에서 15개의 노드를 이용하여 cpi를 수행한 예는 <그림 4>와 같다.

```

Tera Term
File Edit Setup Control Window Help

[root@node1 park]# cd
[root@node1 /root]# ls
MPB Peritest bWatch.gif bs2 cpi fbf mpcbench nsmail pbs_server test
PMG-MPI1 aba bwp cheops.gif es.f fish nor pbs.gif run tonet
[root@node1 /root]# mpirun -np 15 cpi
Process 0 on node1.mir.bada
Process 2 on node3.mir.bada
Process 1 on node2.mir.bada
Process 3 on node4.mir.bada
Process 4 on node5.mir.bada
Process 5 on node6.mir.bada
Process 6 on node7.mir.bada
Process 7 on node8.mir.bada
Process 8 on node9.mir.bada
Process 9 on node12.mir.bada
Process 10 on node13.mir.bada
Process 11 on node14.mir.bada
Process 12 on node15.mir.bada
Process 13 on node2.mir.bada
Process 14 on node3.mir.bada
cpi is approximately 3.1418009869231245. Error is 0.0000003333333314
wall clock time = 0.050791
[root@node1 /root]#
  
```

<그림 4> 본 시스템에서 MPICH 실행의 예.

제 2 절 베어울프 시스템의 운영

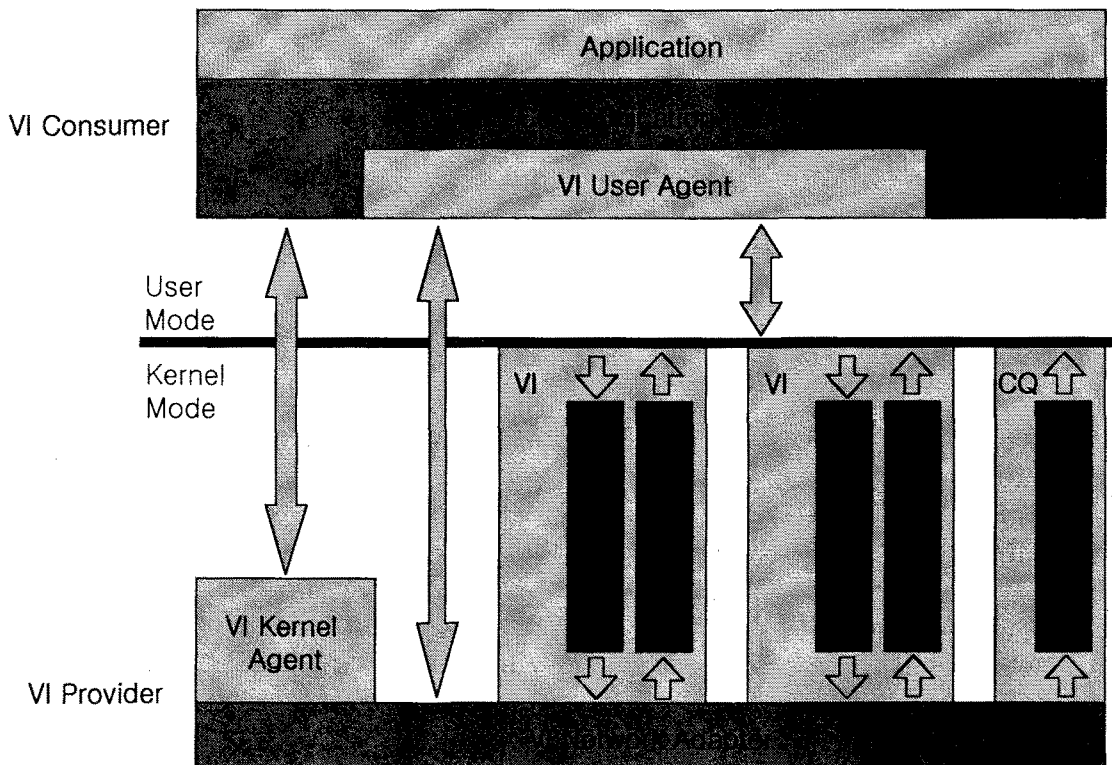
기본적인 베어울프 시스템을 구성하고 나면, 본 연구의 목적인 예망어업 시뮬레이터를 최적의 환경에서 운영하기 위한 시스템 소프트웨어가 필요하다. 본 절에서는 개발된 베어울프 시스템에서 설치된 운영 소프트웨어들을 소개한다. 먼저 메시지 송수신 시의 통신효율을 개선하기 위해서 Linux 운영체제에 이식된 VIA(Virtual Interface Architecture) 통신구조에 대해서 소개하고, 클러스터 시스템과 수행되는 작업들을 관리하기 위한 소프트웨어 환경으로서 PBS, bWatch, Cheops 등을 소개한다. 마지막으로 예망어업 시뮬레이터와 같은 병렬프로그램의 개발을 위한 소프트웨어 환경인 MPI와 디버깅 도구 등에 대해서 소개한다.

1. 통신 소프트웨어 구조

본 시스템에서는 100 Mbps Fast Ethernet NIC를 장착한 각 노드를 switch hub로 연결하고 Linux 운영체제 하에서 가동되도록 구성하였다. 이러한 통신 하드웨어들을

가동하기 위해 Linux에서 채택한 기본적인 통신 프로토콜은 인터넷에서 사용되는 TCP/IP 프로토콜로서, 노드간의 신뢰성 있는 패킷 송수신을 위해 고안된 것이다. 그러나 TCP/IP 프로토콜은 여러 개의 기능 계층을 두루 섭렵하면서 수행되기 때문에, 각 메시지를 송수신하는 과정에서 고성능 연산을 위한 본 시스템의 개발 목적에 비해서는 상대적으로 큰 지연시간을 초래한다. 예를 들어, 메시지 송수신을 위해서 매번 커널이 수행하는 시스템 호출 과정은 매 패킷 전송시마다 사용자 모드에서 커널 모드로의 문맥교환을 수반하므로 각 노드에서 유발되는 병목현상 및 비결정적 수행의 원인이 되고, 사용자 주소 영역에 있는 데이터를 커널 내부로 복사한 후 전송해야 하므로 공간 비용의 측면에서도 심각한 단점이 있다. 본 연구에서 개발된 시스템에서는 고성능 통신 시스템의 구축을 위하여 TCP/IP 프로토콜의 통신 부담을 줄이는 VIA(Virtual Interface Architecture)(Comp) 프로토콜을 사용하도록 시스템을 구축하였다. VIA는 메시지의 송수신 과정에서 커널의 개입을 배제하고, 프로세스와 네트워크 장치 사이에서 직접적으로 메시지를 송수신하는 사용자 수준 통신 프로토콜로서 Intel, Compaq, Microsoft 등에 의해서 표준화되었다.

VIA는 커널 버퍼로의 복사를 생략하여 사용자 영역의 버퍼에서 직접 NIC로 메시지를 전송하는 사용자 수준의 무복사 전송기법을 제공한다. VIA의 구조는 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 본시스템에 채용한 VIA 통신 프로토콜의 구조.

그럼에서와 같이 VIA는 VI-Provider, VI-Consumer, VI(Virtual Interface), CQ(Complete Queue) 등의 네 가지 기본 요소들로 구성된다. VI-Provider는 물리적인 네트워크 어댑터와 Kernel Agent 및 라이브러리를 포함하며, VI-Consumer는 VIA를 이용하는 응용 프로그램이다. 일반적으로 노드상의 여러 프로세스는 하나의 네트워크 어댑터를 공유하지만, VIA에서는 가상적으로 각각의 VI-Consumer마다 하나의 전용 어댑터가 할당되어 있는 것과 같이 보이도록 지원한다. 따라서 두 프로세스가 통신을 하기 위해서는 우선 각 프로세스가 VI를 하나씩 생성하고, 이들 VI 사이에 가상 회선을 설정하여야 한다.

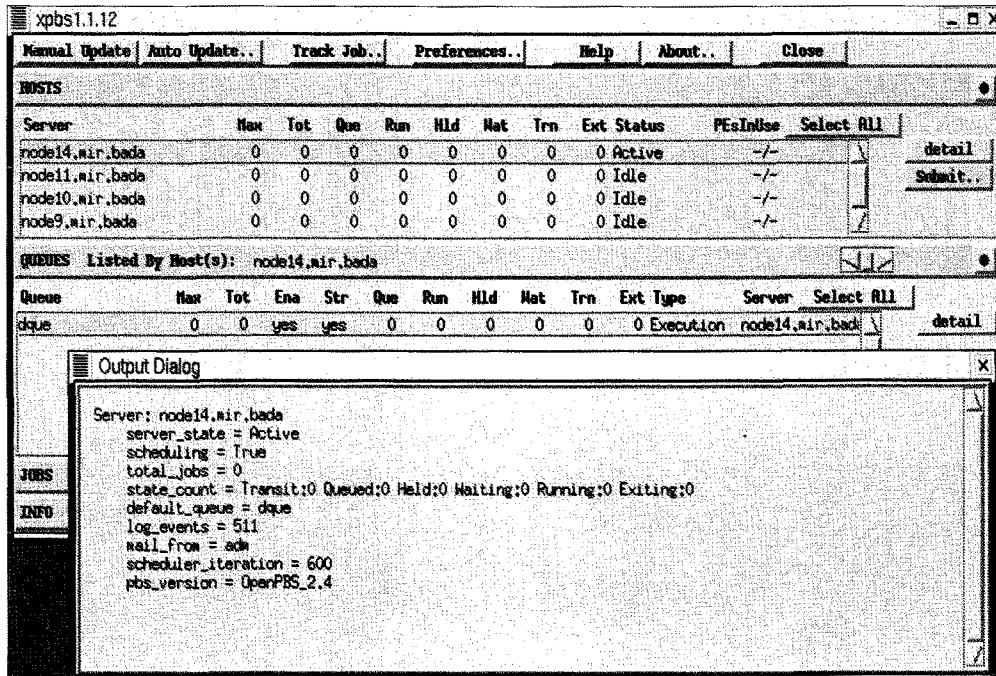
각각의 VI는 송신을 위한 Send Queue와 수신을 위한 Receive Queue로 구성되며, VI-Consumer는 전달하거나 전달받을 메시지에 대한 정보를 가지는 디스크립터를 Send Queue 또는 Receive Queue에 추가함으로써 데이터를 교환한다. 그리고 여러 개의 송수신 큐를 하나의 CQ와 연결시킴으로써, 매번 모든 큐를 조사할 필요가 없이 CQ를 통해 완료된 디스크립터를 처리할 수 있다. Send Queue와 Receive Queue에 저장되는 내용은 실제 디스크립터를 가리키는 포인터를 저장하고 있다. 전송 측에서 send 디스크립터를 Send Queue에 삽입하면 Kernel Agent가 메시지를 VI Network Adaptor를 통하여 전송한다. 수신 측의 Kernel Agent는 Receive Queue에 미리 삽입되어 있는 Receive 디스크립터가 지시하는 메모리 영역에 전송 받은 메시지를 저장한다. Kernel Agent는 실제 데이터의 전송과 주소 변환 등을 수행하는 것으로서, Send Queue의 디스크립터에 따라서 메시지를 만들어 VI Network Adaptor로 전송하고, CQ를 조사하여 디스크립터의 완료 여부를 알아낸다.

2. 시스템의 관리 환경

최종적으로 구축된 베어울프 시스템에는 분산된 노드들의 컴퓨터 자원을 효과적으로 관리하고, 각 시스템의 작업 처리량을 극대화하면서 편리한 사용자 인터페이스를 제공하는 소프트웨어가 필요하였다. 이를 위해서, 본 연구에서는 각 노드로 분담하여 실행하는 작업들을 관리하기 위한 도구로 PBS(Portable Batch System)(최 등, 2000), 각 노드들을 감시하는 도구로 bWatch(최 등, 2000), 네트워크 통신 상태를 분석하는 도구로는 Cheops(최 등, 2000)를 설치하였다.

본 시스템에 작업관리 도구로 설치된 PBS는 작업의 실행정지 기능, 보안 및 사용 제한 기능, 계정별 로그(log) 기능, 병렬 작업처리 기능, 표준의 API 등을 제공한다. 작업의 실행정지 기능은 가장 기본적인 일괄처리 시스템의 기능으로 작업의 실행 및 정지뿐만 아니라, 그 우선권(priority)도 설정할 수가 있다. 보안 및 사용 제한 기능은 특정한 작업을 실행할 수 있는 서버, 그룹, 사용자 등을 지정할 수 있으며, 특정한 자원도 특정한 서버, 그룹, 사용자만 사용하도록 제한할 수 있다. 계정로그 기능은 각 사용

자별 사용시간이나 사용 자원에 따른 상세한 사용 기록이 자동으로 생성한다. 병렬 작업처리 기능은 MPI(Message Passing Interface), PVM(Parallel Virtual Machine), HPF(High Performance Fortran) 등의 병렬처리 모델들을 지원한다. 본 시스템에서 실행된 PBS의 화면은 <그림 6>과 같다.



<그림 6> PBS 수행 예.

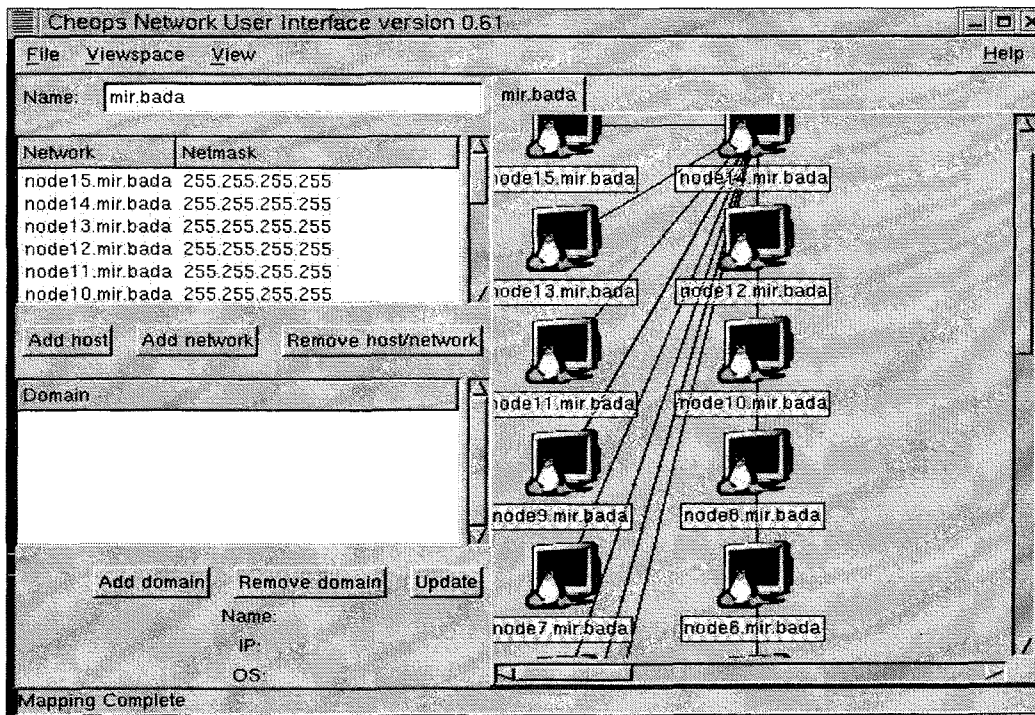
bWatch는 클러스터 자원들의 상태를 감시할 수 있게 하는 도구로서 각 노드에서의 평균 부하, 메모리 소비량, 프로세스 수 등을 보여준다. 본 시스템에 설치된 bWatch의 실행 예는 <그림 7>과 같다.

The screenshot shows the bWatch 1.0.3 interface displaying a table of host resource usage. The table has columns for Host Name, Num Users, Time, 1 min Load, 5 min Load, 15 min Load, Num procs., Total Mem, Free Mem, Shared Mem, Buffers, Cache, Total Swap, and Free Swap. The data is organized into 15 rows, one for each host from node1 to node15. At the bottom of the table, there are 'Refresh' and 'Exit' buttons.

Host Name	Num Users	Time	1 min Load	5 min Load	15 min Load	Num procs.	Total Mem	Free Mem	Shared Mem	Buffers	Cache	Total Swap	Free Swap
node1	3 users	8:19	1.38	1.26	1.20	53	248 Mb	3768 Kb	9 Mb	5 Mb	14 Mb	1004 Mb	879 Mb
node2	1 user	2:19	0.00	0.00	0.00	35	248 Mb	132904 Kb	6 Mb	78 Mb	13 Mb	1027 Mb	1021 Mb
node3	1 user	4:16	0.00	0.00	0.00	28	248 Mb	82064 Kb	11 Mb	125 Mb	7 Mb	512 Mb	511 Mb
node4	1 user	3:53	0.00	0.00	0.00	35	248 Mb	103408 Kb	16 Mb	102 Mb	10 Mb	1027 Mb	1027 Mb
node5	1 user	3:55	0.00	0.00	0.00	43	248 Mb	130240 Kb	72 Mb	64 Mb	14 Mb	5247 Mb	5247 Mb
node6	1 user	3:55	0.00	0.00	0.00	37	248 Mb	93712 Kb	32 Mb	103 Mb	14 Mb	1027 Mb	1027 Mb
node7	1 user	4:01	0.00	0.00	0.00	30	248 Mb	103992 Kb	16 Mb	104 Mb	8 Mb	512 Mb	512 Mb
node8	1 user	4:11	0.00	0.00	0.00	33	248 Mb	102848 Kb	17 Mb	104 Mb	9 Mb	512 Mb	512 Mb
node9	0 users	7:22	0.00	0.00	0.00	67	121 Mb	33720 Kb	22 Mb	29 Mb	37 Mb	1027 Mb	1017 Mb
node10	0 users	6:51	0.00	0.00	0.00	39	248 Mb	10088 Kb	7 Mb	168 Mb	34 Mb	1027 Mb	1020 Mb
node11	0 users	12:12	0.00	0.00	0.00	67	248 Mb	8072 Kb	83 Mb	157 Mb	30 Mb	1027 Mb	1021 Mb
node12	0 users	1:29	0.00	0.00	0.00	48	501 Mb	243256 Kb	87 Mb	191 Mb	12 Mb	502 Mb	502 Mb
node13	0 users	4:05	0.00	0.00	0.00	30	248 Mb	26256 Kb	13 Mb	154 Mb	27 Mb	512 Mb	512 Mb
node14	3 users	3:54	0.15	0.06	0.01	83	248 Mb	5496 Kb	83 Mb	72 Mb	109 Mb	1027 Mb	1022 Mb
node15	0 users	4:00	0.00	0.00	0.00	37	248 Mb	14296 Kb	15 Mb	174 Mb	14 Mb	1027 Mb	1020 Mb

<그림 7> 본 시스템에서 bWatch 수행 결과의 예.

Cheops는 네트워크의 통신 상태를 시각화하여 분석해 주는 도구로서, 네트워크 구조의 각 노드의 운영체제 종류도 시각적으로 보여준다. 본 시스템에 설치된 Cheops의 수행 예는 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 본 시스템에서 Cheops 수행 예.

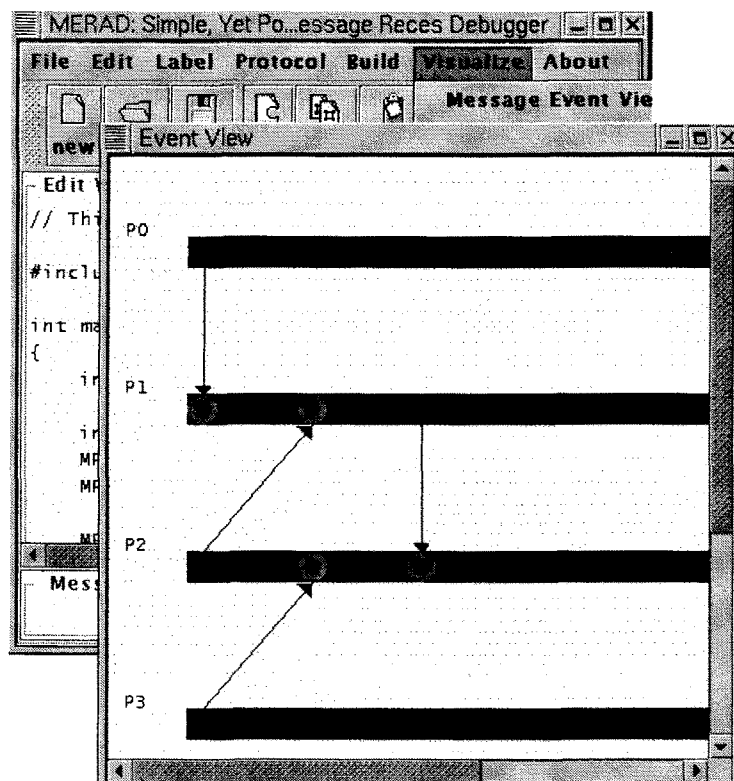
3. 프로그램 개발 환경

본 베어울프시스템의 프로그램 개발 환경을 구축하기 위하여, 병렬프로그램 개발 언어로는 MPI(Ong & Farrell, 2000)를 선택하였고, MPI로 작성된 예망어업 시뮬레이터의 효과적인 디버깅을 위해서 자체 개발된 메시지경합 탐지도구도 함께 구축하였다.

본 베어울프시스템에서 구동될 예망어업 시뮬레이터는 수치계산에 적합한 포트란 언어와 고성능 병렬처리를 위한 MPI 라이브러리가 연결되어 작성되었다. MPI 프로그램은 일반적으로 그 구조가 복잡하고 분산되어 처리되는 각 작업의 동작을 정확하게 파악하기 어려우므로, 이러한 모델의 프로그램을 효율적으로 개발하기 위해서는 병렬프로그램의 성능을 분석하기 위한 성능 감시기(profiler)와 오류 탐지 및 수정을 위한 병렬 디버거(debugger)가 필수적이다. 이러한 MPI 프로그램을 디버깅하기 위한 기존의 도구들은 매 수행마다 다른 수행결과를 보이는 병렬프로그램의 비반복성(irrepeatability)으로 인하여 디버깅 작업이 대단히 어렵다. 이러한 병렬프로그램의 비반복성을 야기하는 주된 원인은 메시지경합(message race) (배 등, 2000a, b)이다. 메시지경합은 노드들 간에 작업분담을 위해서 송수신되는 메시지들이 프로세스 스케줄

링이나 네트워크 상의 통신지연으로 인해서 수신자에게 그들 간의 도착순서가 보장되지 않는 경우에 발생한다. 이러한 메시지경합은 MPI 병렬프로그램의 비결정적 수행결과를 초래하므로 효과적인 디버깅을 위해서는 반드시 탐지되어 수정되어야 한다.

본 연구에서는 예망어업 시뮬레이터의 신뢰성을 높이기 위해서 메시지경합을 탐지하고 이를 효과적으로 시각화할 수 있는 도구 (배 등, 2000a, b)를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 메시지경합 탐지도구의 실행화면은 <그림 9>와 같다. 본 도구의 주요 기능으로는 디버깅의 대상 프로그램을 관리하는 메뉴, 경합탐지 기법을 선택하는 메뉴, 그리고 프로그램 수행결과를 시각화하는 메뉴 등으로 구성된다. 대상 프로그램의 관리를 위해 제공되는 File 메뉴는 경합을 탐지하고자 하는 대상 프로그램을 열기 위한 것으로, 일반적인 파일 관련 부 메뉴 외에도 NAS 벤치마크를 포함한 표준 벤치마크 프로그램들을 제공한다. 경합탐지 기법을 선택하는 메뉴에는 기존의 경합탐지 기법들뿐만 아니라, 본 연구에서 개발하는 경합탐지 기법들도 제공한다. 마지막으로, 경합탐지 기법을 적용하여 수행한 결과를 시각화하는 Visualize 메뉴에서는 프로그램의 수행결과를 시각적으로 표현하기 위해서 Event View와 Race View를 제공한다. Event View는 프로그램 수행중에 발생한 모든 송수신 사건을 시각화하며, Race View는 탐지된 경합을 시각화하는 기능이다.



<그림 9> 본 시스템에서 메시지 경합의 시각화 수행 결과의 예.

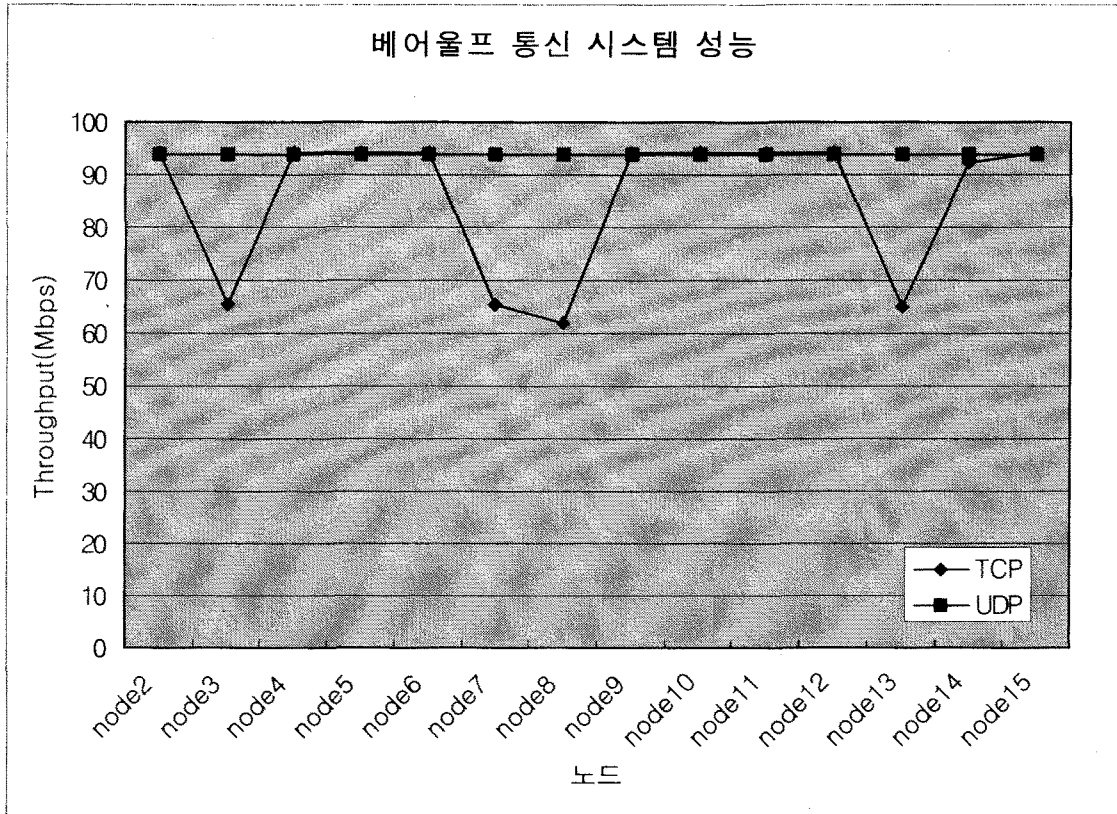
제 3 절 베어울프 시스템의 성능

본 연구에서는 최종적으로 개발한 시스템의 성능을 최적화하기 위해서, 먼저 공개된 벤치마크 프로그램들을 이용하여 그 성능을 객관적으로 평가하고, 본 시스템의 개발 목적인 예망어업 시뮬레이터만을 수행하는 성능에 집중하여 평가하였다. 본 절에서는 구축된 시스템의 객관적인 성능을 평가하기 위해서 NAS 병렬 벤치마크와 Netperf 벤치마크 프로그램을 이용하여 통신 성능과 병렬처리 성능을 각각 평가한 결과를 보이고, 예망어업 시뮬레이터의 수행 성능만을 집중적으로 평가하기 위해서 개발된 커널 벤치마크 프로그램과 최종적으로 개발된 시뮬레이터의 수행성능을 평가한 결과를 보인다.

1. 통신 성능의 평가

클러스터 시스템의 성능은 각 노드들 간의 네트워크에 의한 통신 성능에 크게 좌우된다. 본 연구에서는 Netperf 벤치마크 프로그램을 사용하여 개발된 베어울프 시스템의 통신 성능을 평가하였다. Netperf는 네트워크 성능평가를 위해서 개발된 벤치마크 프로그램으로서, TCP(Transmission Control Protocol) 또는 UDP(User Datagram Protocol) 기반의 요청/응답 성능과 집단 데이터 전송의 성능을 평가하는 프로그램이다. TCP/IP 프로토콜을 사용하는 통신망에서 사용되는 대표적인 통신에는 TCP 프로토콜을 사용하는 연결 지향 모델과 UDP 프로토콜을 사용하는 무연결 지향 모델이 있다. 본 실험에서는 중계 노드에서 각 노드로의 TCP 통신 성능과 UDP 통신 성능을 평가하였다. 본 베어울프 시스템에서 네트워크 통신망의 성능을 평가한 실험 결과는 <그림 10>과 같다. 그림에서 UDP 통신에 대해서는 통신 속도가 거의 94 Mbps 전송 속도를 보이고, TCP 통신에서는 각 노드에 대해서 평균적으로 86 Mbps 전송 속도를 보임을 알 수 있다. 현재 베어울프 시스템의 통신 시스템은 100 Mbps Fast Ethernet 기반으로 구축되었으며, 실험을 통해서 UDP 최대 전송속도는 거의 100 Mbps 전송속도임을 확인하였다.

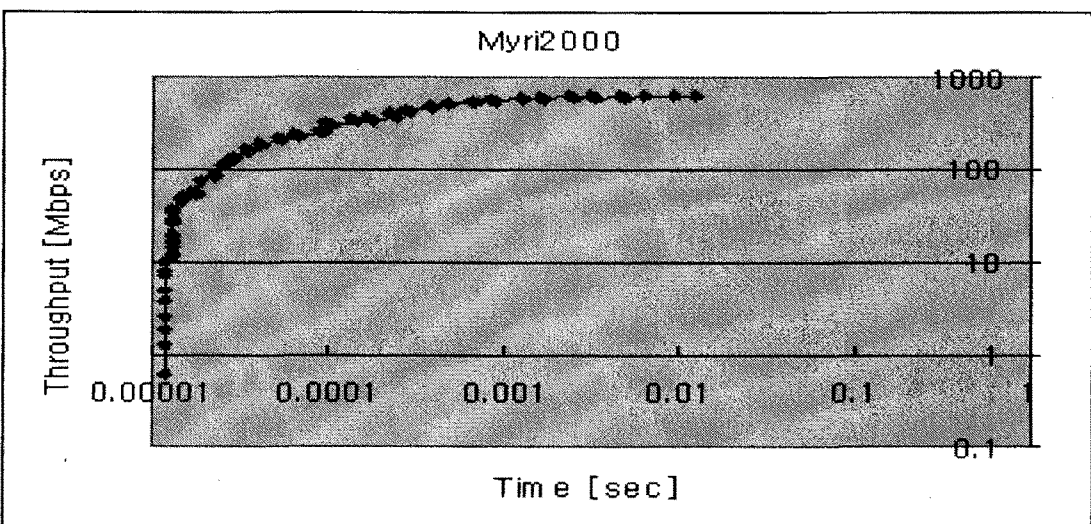
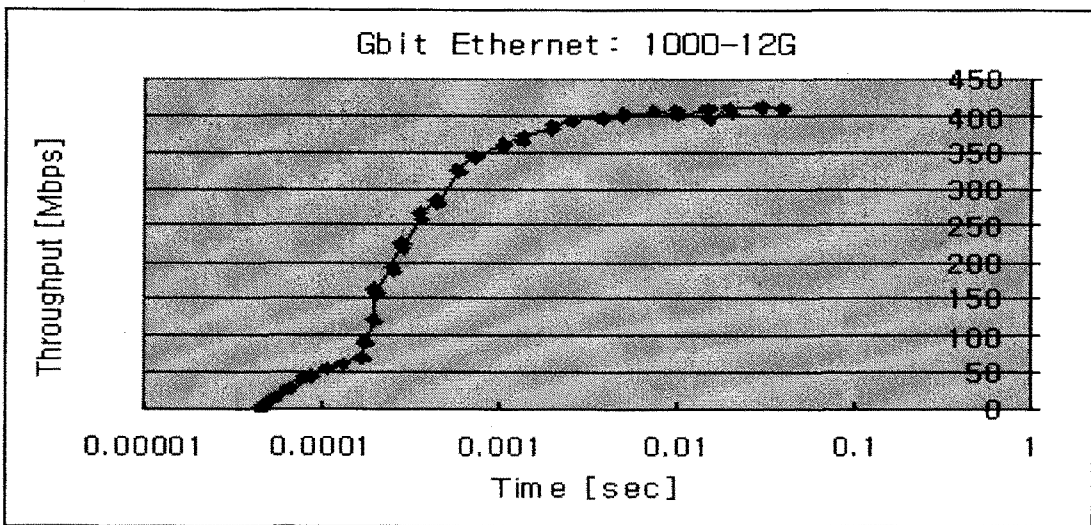
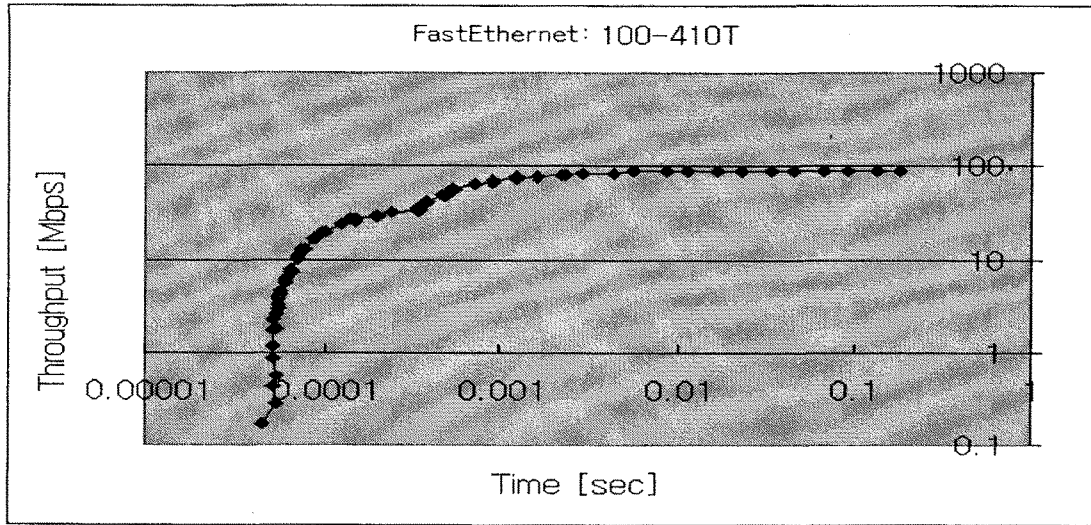
클러스터 시스템에서 많이 사용되는 통신 시스템으로는 Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Myrinet 등이 있다. 근거리 통신망 용도로 개발된 Fast Ethernet은 NIC 간의 통신에서 최대 100 Mbps의 대역폭을 가지므로 클러스터 시스템에 필요한 충분한 성능을 제공하지는 못하지만, Gigabit Ethernet이나 Myrinet에 비해서 시스템 구축비용이 저렴하기 때문에 널리 사용되고 있다. 반면에 Gigabit Ethernet은 1 Gbps의 데이터 전송 속도를 보이는 근거리 통신망으로, Fast Ethernet에 비해서 높은 대역폭을 제공하지만 고비용으로 인하여 많이 사용되고 있지 않다. Myrinet은 640 Mbps의 전송 속도로 네트워크 스위치를 이용하는 스위치-기반(switch-based) 근거리 통신망이다.



<그림 10> Netperf를 이용한 본 시스템 100 Fast Ethernet의 통신 성능평가 결과.

Myrinet은 Myrinet API를 이용하여 프로세스가 커널을 통하지 않고 사용자 수준에서 Myrinet 인터페이스 보드를 직접적으로 접근하도록 함으로써, 빠른 전송속도와 낮은 통신 지연을 제공한다. <그림 11>은 Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Myrinet 등의 네트워크에서 제공하는 통신 성능을 비교한 결과이다.

각 네트워크의 통신 성능을 평가하기 위해서, 벤치마크 프로그램인 Netpipe (Network Protocol Independent Performance Evaluator) (홍 등, 2002)를 사용하여 일대일 통신의 통신 대역폭과 전송 지연을 측정하였다. 실험 결과에서 Myrinet은 대략 640 Mbps, Gigabit Ethernet은 410 Mbps, Fast Ethernet은 89 Mbps 등의 송 속도를 보였다. 실험 결과로서 Myrinet의 통신 성능이 가장 우수하고 Fast Ethernet이 가장 낮은 전송 속도를 보이기 때문에, Fast Ethernet 기반으로 구축된 현재의 베어울프 시스템을 Myrinet 기반으로 구축한다면 Gigabit Ethernet에 비해서 비교적 저비용으로 성능을 더욱 향상시킬 수 있다고 판단된다.



<그림 11> 3가지 네트워크 통신 시스템의 성능비교 (홍 등, 2002).

2. 병렬처리 성능의 평가

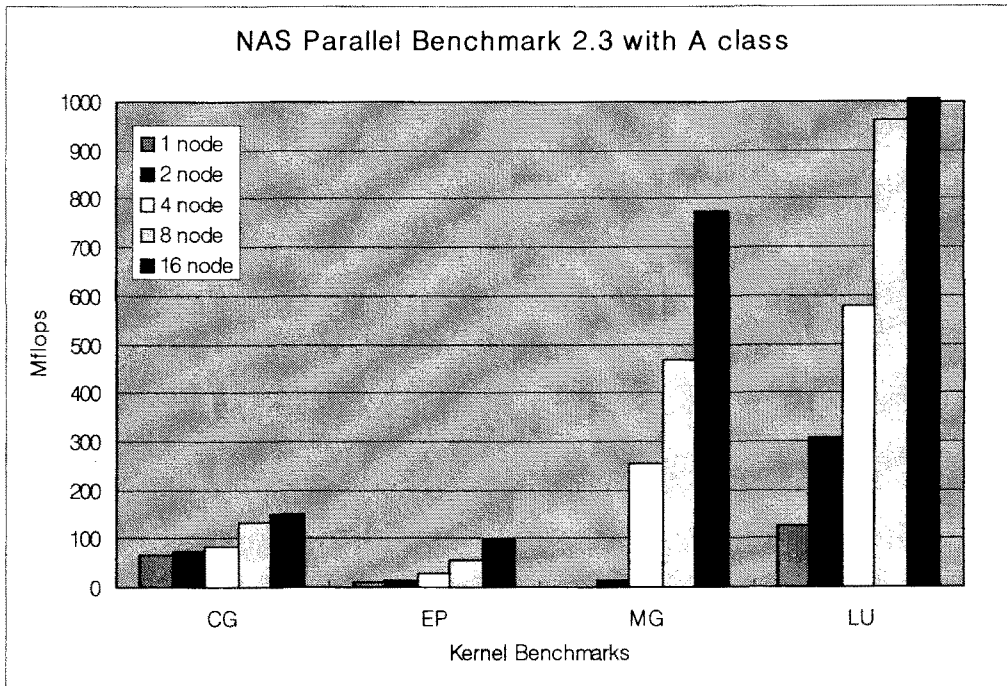
본 연구에서는 최종적으로 개발한 시스템의 성능을 최적화하기 위해서 공개된 벤치마크 프로그램인 NPB (NAS Parallel Benchmark) (Pfneiszl & Kotsis, 1996, Saphir et al., 1996)를 이용하여 그 성능을 객관적으로 평가하였다. NPB는 전산 유체역학 및 관련 연구 분야의 계산을 주로 담당하는 고성능 병렬컴퓨터들의 성능을 평가하기 위해서 NASA Ames 연구센터에서 개발한 벤치마크 프로그램으로서, 1991년에 버전 1.0을 발표하여 현재 버전 2.3까지 발표되었다. 현재의 NPB는 8개의 벤치마크 프로그램들로 구성되는데, 그 중에서 5개는 커널 벤치마크이고 3개는 응용 벤치마크이다. 실험에 사용된 NPB는 가장 최신인 2.3 버전을 사용하였으며, 8개의 프로그램들 중에서 3개의 커널 프로그램(CG, EP, MG)과 3개의 응용 프로그램(BT, LU, SP)으로 실험하였다. 각각의 벤치마크 프로그램은 입력되는 문제의 크기에 따라서 A class, B class, C class 등으로 구분하여 실험할 수 있는데, 본 연구에서는 이들 중에서 가장 작은 크기의 문제인 A class만을 사용하였다. 각 프로그램과 적용한 A class에 대한 구체적인 사항은 <표 3>과 같다.

<표 3> 병렬처리 벤치마크 프로그램의 종류와 크기

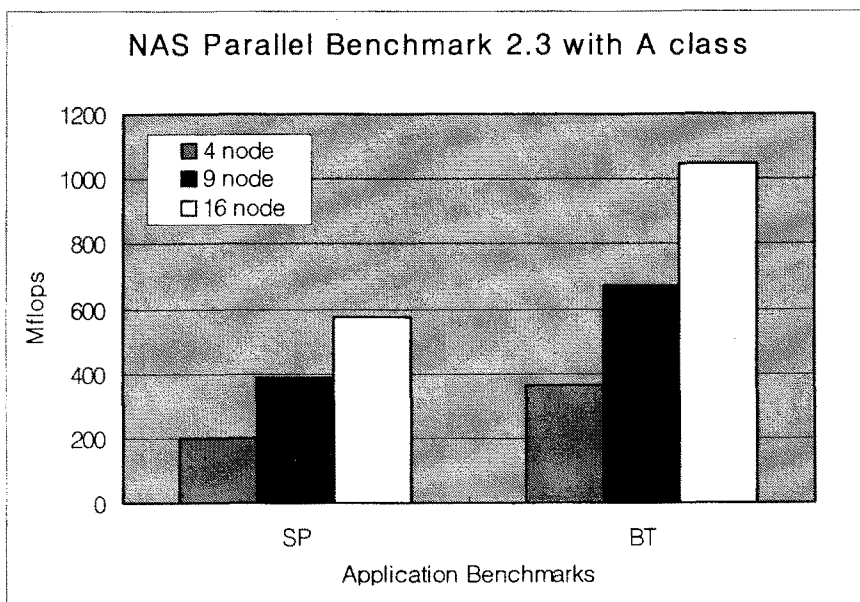
Problem		성격	크기
Program			
커널	CG	Conjugate Gradient Benchmark	14×10^3
	EP	Embarrassingly Parallel Benchmark	2^{28}
	MG	Multigrid Benchmark	256^3
응용	LU	Lower-Upper Diagonal Benchmark	64^3
	SP	Scalar Pentadiagonal Benchmark	64^3
	BT	Block Tridiagonal Benchmark	64^3

NAS 벤치마크를 수행하여 본 베어울프 시스템의 성능을 평가한 결과는 <그림 12>와 <그림 13>과 같다. 그림에서 X축은 수행된 벤치마크 프로그램들을 나타내고, Y축은 각 벤치마크 프로그램을 수행했을 때 시스템의 성능을 Mflops로 나타낸 것이다. <그림 12>에 나타난 벤치마크 프로그램은 2의 승수 번호의 노드에서만 수행될 수 있는 프로그램이므로, 각 프로그램을 1, 2, 4, 8, 16 개 노드에서 수행했을 때 측정된 성능을 비교하였다. CG인 경우에는 1 개의 노드에서 수행했을 때 64.59 Mflops 성능을 보였고, 4개의 노드까지는 성능 차이를 작게 보이다가, 8개의 노드와 16개의 노드에서는 2배의 성능 증가를 보였다. EP인 경우는 1개의 노드에서 8.74 Mflops 성능을 보였고, 이 후에 노드의 증가에 비례하는 성능의 증가를 보였다. 예를 들어, 2, 4, 8, 16 개의 노드들에서 각각 2배, 3배, 6배, 10배 등의 성능을 보였다. MG인 경우는 1개의

노드에서 0.87 Mflops의 성능을 보였고, 2, 4, 8, 16개 노드에서는 각각 10배, 100배, 400배, 700배 등의 큰 성능 증가를 보였다. LU인 경우는 1개의 노드에서 124.08 Mflops의 성능을 보였고, 이를 2, 4, 8, 16개 노드에서 수행했을 때 2배, 5배, 9배, 10배 등의 성능 증가를 보였다. 이와 같이 <그림 12>의 벤치마크 프로그램은 노드 수의 증가에 따라 성능 증가를 보였고, 이러한 증가는 프로그램의 성격에 따라 차이를 있을 수 있다.



<그림 12> 본 시스템의 NPB 커널 벤치마크를 이용한 성능 평가 결과.

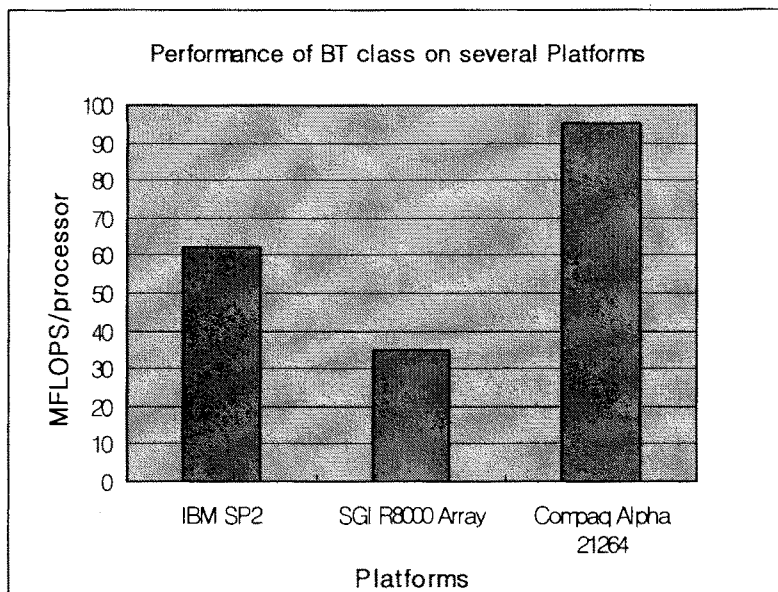


<그림 13> 본 시스템의 NPB 응용 벤치마크를 이용한 성능 평가 결과.

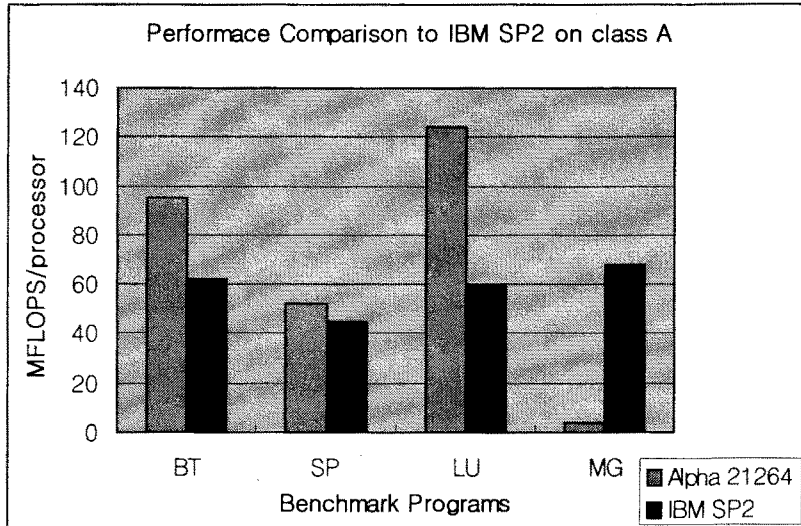
<그림 13>에 나타난 벤치마크 프로그램은 제공수 번호의 노드에서만 수행할 수 있는 프로그램으로서, 각 프로그램을 2, 3, 4 등의 제공수인 4, 8, 16개의 노드에서 수행했을 때의 성능을 보여주고 있다. SP는 1개의 노드에서 199.28 Mflops의 성능을 보였고, 9개와 16개 노드에서는 각각 2배와 3배의 성능 증가를 보였다. BT는 1개의 노드에서 365.18 Mflops의 성능을 보였고, 9와 16개 노드에서 각각 2배와 3배의 성능 증가를 보였다. <그림 12>와 <그림 13>의 실험 결과를 통해서, 본 연구에서 구축한 베어울프 시스템은 노드 수가 증가할수록 효과적인 성능 증가를 보이는 높은 처리능력의 시스템임을 알 수 있다.

<그림 14>와 <그림 15>는 본 시스템의 성능과 NASA Ames 연구소에서 실험한 다른 시스템의 성능을 비교한 것이다. <그림 14>는 IBM/SP2와 SGI Power Challenge Array에서 A class 크기를 가지는 BT를 4개의 노드로 수행한 결과를 비교한 것이다. IBM/SP2는 66.5MHz Power-2 프로세스들을 하나의 고성능 스위치로 연결한 시스템이고, SGI Power Challenge Array는 8개의 90MHz R8000 프로세스들을 하나의 고성능 스위치로 연결한 시스템이다. 그림에서와 같이 IBM/SP2는 60Mflops를 보이고, SGI Power Challenge Array는 30Mflops를 보였으나, 본 시스템은 90Mflops를 보이므로 다른 두 시스템보다 우수함을 알 수 있다. <그림 15>는 BT, SP, LU, MG 등의 벤치마크 프로그램에 대해서 본 시스템과 IBM/SP2의 성능을 비교한 결과이다.

그림에서 MG를 제외한 BT, SP, LU 벤치마크 프로그램에서 본 시스템이 IBM/SP2 보다 높은 성능을 나타냈다. 따라서 본 실험결과에서 본 시스템이 IBM/SP2 나 SGI Power Challenge Array보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다.

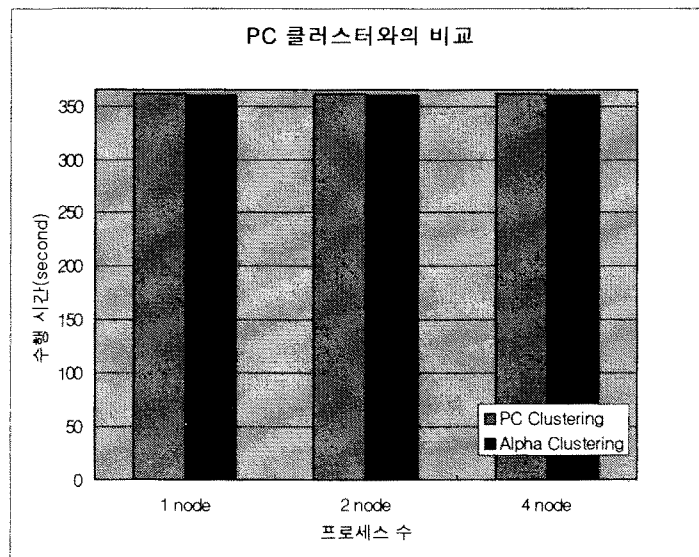


<그림 14> BT에 대한 성능비교.



<그림 15> Alpha 21264와 IBM/SP2의 성능 비교.

<그림 16>은 예망어업 커널 벤치마크에서 데이터 전송패턴의 횟수를 일정하게 하여서, 일반 Intel PC 클러스터와 본 베어울프 클러스터에서 수행했을 때의 성능을 비교한 것이다. PC 클러스터의 각 노드들은 Intel Pentium IV로서 1.5GHz의 속도를 가지며, 각 메모리의 용량은 256MB이다. 그림에서 X축은 벤치마크를 수행한 노드의 수를 나타내고, Y축은 벤치마크를 수행한 시간을 초(sec)로 나타낸 것이다. 실험을 위해서 벤치마크 프로그램을 각 플랫폼의 1, 2, 4개의 노드에서 수행하여 시간을 비교하였다. 본 실험 결과 본 Alpha(600MHz) 클러스터 시스템과 Intel PC(1500MHz) 클러스터에서의 수행시간은 거의 비슷한 것으로 나타났으며, 따라서 현재 출시된 최상위 기종들인 Alpha(1.2GHz) 클러스터 시스템과 Intel PC(3GHz) 클러스터에서의 수행시간도 거의 비슷할 것으로 예상할 수 있다.

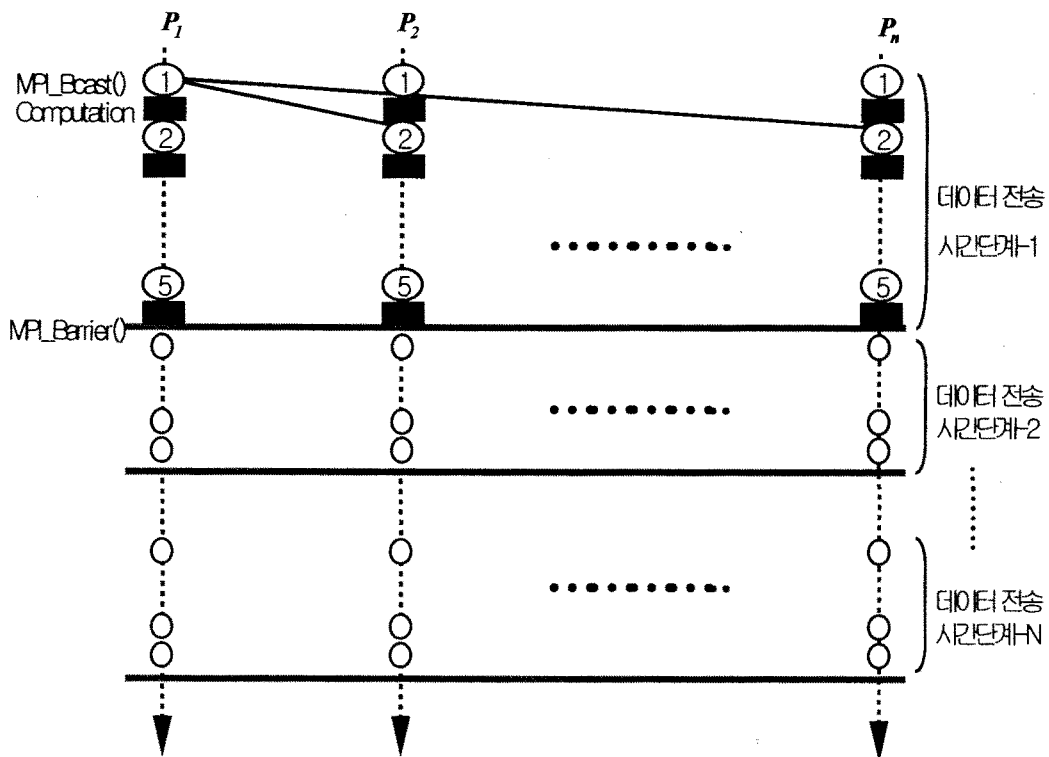


<그림 16> 커널 벤치마크를 이용한 PC 클러스터와의 비교.

3. 시뮬레이터 성능의 평가

본 연구에서는 최종적으로 개발한 시스템의 성능을 최적화하기 위해서, 먼저 벤치마크 프로그램들을 이용하여 그 성능을 객관적으로 평가하고, 본 시스템의 개발 목적인 예망어업 시뮬레이터만을 수행하는 성능에 집중하여 평가하였다. 예망어업 시뮬레이터는 어류들의 이동을 시뮬레이션하기 위해서 병행 수행되는 프로세스 간에 데이터를 서로 교환하는 규칙적인 통신 패턴을 가진다. 이러한 시뮬레이터가 어류들의 이동을 얼마나 정밀하게 표현하는가는 프로세스간의 반복되는 데이터 전송패턴의 횟수에 비례한다. 실례로서, 1시간(3600초) 동안 예망할 경우의 어획과정의 시뮬레이션에서 시간단계 2초마다 어류들의 이동을 시뮬레이션하기 위해서 요구되는 데이터의 전송 횟수는 1800번이고, 1초마다 시뮬레이션하기 위해서는 3600번, 그리고 0.5초마다 시뮬레이션하기 위해서는 7200번의 데이터 전송패턴의 횟수가 필요하다.

본 연구에서 개발한 예망어업 시뮬레이터에서 사용되는 통신함수는 MPI의 'MPI_Bcast()'이다. 이 함수는 하나의 프로세스가 메시지를 방송(broadcast)하면 동일한 채널에 연관된 내의 다른 모든 프로세스가 해당 메시지를 수신하는 함수이다. 본 연구에서는 예망 어업 시뮬레이터의 병렬성을 평가하기 위해서 집합적 통신함수인 MPI_Bcast()를 이용한 MPI Fortran 커널 프로그램 개발하였다. 예망어업 커널 프로그램의 개략적인 구조는 <그림 17>과 같다.



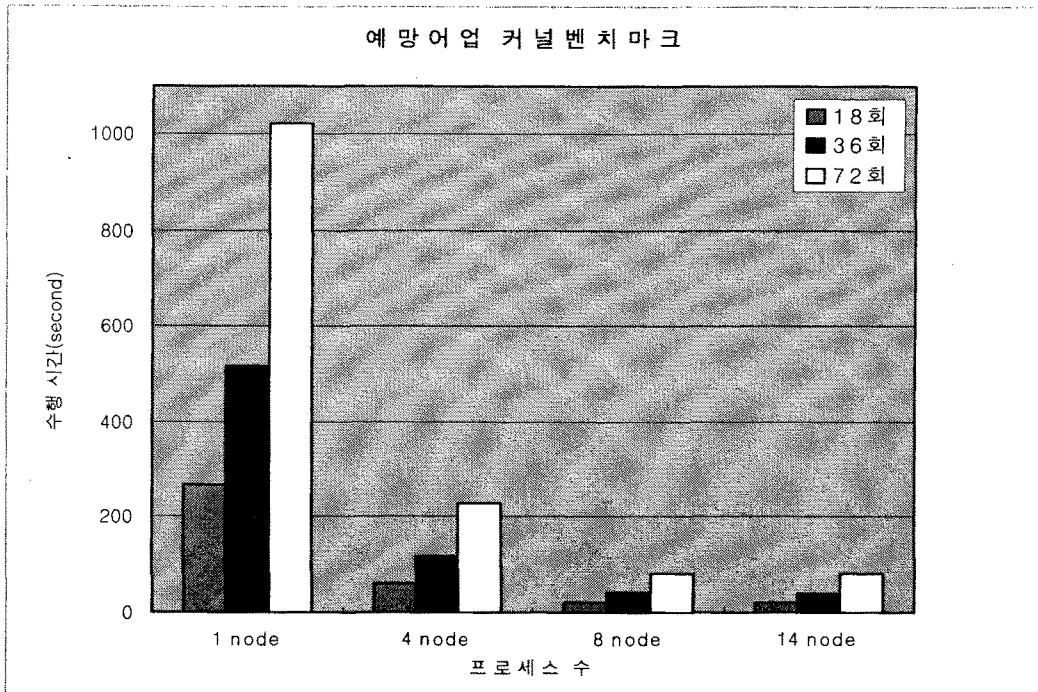
<그림 17> 본 예망어업 모델의 커널 벤치마크 구조.

<그림 17>에서 각 프로세스는 시간단계별로 데이터 전송을 반복적으로 N 번 수행한다. 예망어업 프로그램에 표현된 5개의 데이터(어류의 3차원좌표, 이동방향, 도피상태 등) 전송은 5개의 MPI_Bcast() 함수로 구성된 것으로서, 그림에서 번호가 들어간 타원형(○)이 MPI_Bcast() 함수를 나타낸 것이고 타원형 안의 번호는 해당 MPI_Bcast()가 몇 번째 호출인가를 나타낸 것이다. 그리고 각각의 MPI_Bcast() 함수 사이에는 각 프로세스마다 수행하게 되는 지역적인 연산시간이 삽입되며, 이것은 그림에서 사각형(■)으로 표기되었다. 커널 프로그램에서 지역적인 연산의 수행은 주어진 시간만큼 프로세스가 대기(sleep)하도록 구현되었다. 커널 프로그램에서 지역적인 연산을 수행한 후에 하나의 데이터 전송이 끝나고 나면, 다음 데이터 전송에 진입하기 전에는 모든 프로세스들의 동기화를 위한 MPI_Barrier() 함수가 삽입된다. 그림에서는 이 함수의 수행을 각각의 데이터 전송패턴을 구분하는 가로 막대 모양으로 표현되었다. 이러한 조건으로 구현된 본 커널 프로그램은 각 데이터 전송패턴 내에 1400개의 MPI_Bcast() 함수를 수행하도록 작성하였고, 향후 확장성을 위해서 4가지의 인수를 입력으로 한다. 전달되는 인수들 중에서 첫 번째는 데이터 전송패턴의 횟수이고, 두 번째는 연산을 위한 시간이고, 세 번째는 서로 교환되는 데이터의 타입이고, 네 번째는 교환되는 데이터의 길이이다. 여기서 각 데이터 전송패턴내의 MPI_Bcast() 수행횟수와 두 번째 인수인 연산 시간은 함께 수행되는 프로세스들이 서로 분담하여 수행하게 된다.

최종 시스템의 성능을 평가하기 위해서 커널 벤치마크 프로그램을 이용한 여러 개의 실험단계를 거쳐 프로그램의 병렬성과 성능향상 여부를 평가하였다. 각 실험 단계는 노드 수의 증가에 따라 수행되었으며, 처음에는 1개 노드에서 프로그램을 수행한 시간을 측정하고, 차례로 4, 8, 14개의 노드에서 각각 수행했을 때 소요된 시간을 측정하였다. 이러한 실험 단계는 병렬성이 높은 프로그램일수록 노드의 수가 증가할 때 성능이 향상되는 특징을 고려하여 구상되었다. 이러한 실험모델은 노드 수의 증가에 따른 프로그램의 성능 향상을 쉽게 식별케 하고, 실험된 프로그램의 병렬성을 효과적으로 평가하게 한다.

최종 시스템에서 실험된 커널 벤치마크 프로그램은 시뮬레이션을 위한 데이터 전송패턴 횟수의 100분의 1에 해당되는 횟수인 (18, 36, 72) 등의 경우로 설정하고, MPI_Bcast() 함수의 호출들 사이에 수행되는 연산 시간은 8초로 설정하였다. 그 외에 송수신되는 데이터 타입은 정수형(integer)으로 고정하고, 데이터의 길이도 1로 설정하여 실험하였다. 노드 수 및 데이터 전송패턴 수의 증가에 따른 커널 벤치마크 프로그램의 실험결과는 <그림 18>과 같다. 그림에서 각각의 막대그래프에는 해당 프로그램이 수행하는 데 걸린 시간이 초단위로 표기되었다. 그 결과 데이터 전송패턴의 횟수가 18, 36, 72인 세 가지 경우 모두에서 노드의 수가 증가할수록 각각의 수행시간이 단축됨을 알 수 있다. 이 실험을 통해서 본 예망어업 시뮬레이터가 MPI_Bcast와 같은 병

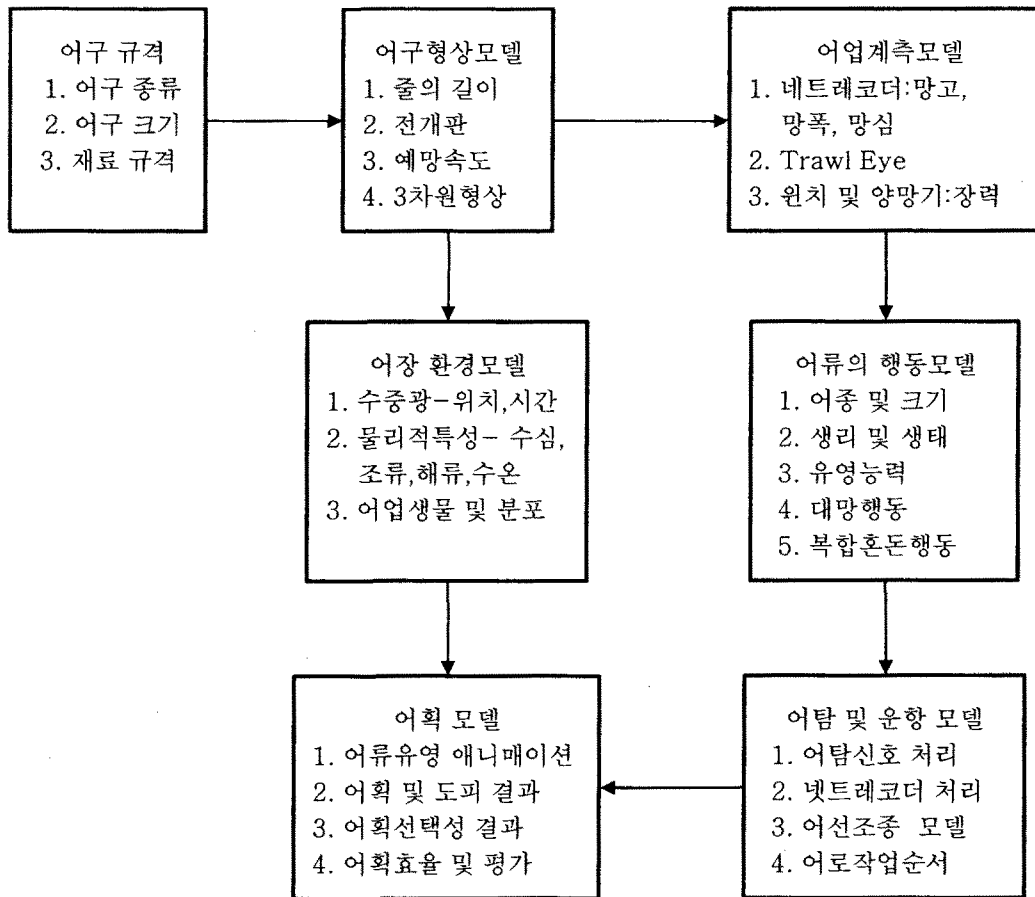
렬성이 낮은 집단 통신 함수를 사용하였으나, 대량의 데이터 처리 작업이 노드들 간에
공평하게 분배되어 처리되고 있음을 확인할 수 있었다.



<그림 18> 예망어업 커널 벤치마크를 이용한 본 시스템의 성능평가.

제 4 장 예망어업 모델링 및 시뮬레이션

예망어업의 시뮬레이터 개발을 위한 모델의 개략적인 구성은 <그림 19>와 같이 어장환경모델, 어업생물 모델, 어탐모델, 어선운항모델, 어구형상모델, 행동 자극모델, 혼동반응모델, 어획모델 등의 하부 모델 등으로 구성된다. 예망어업의 주대상 어구는 저층트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권현망 등의 4개업종이며, 주대상 어종을 20종 정도이며, 연차적인 연구 내용은 다음과 같다.



<그림 19> 예망어업 시뮬레이터의 모델 구성도.

1차년도 : 어구형상 및 어장환경모델

- 가. 현장조업자료 수집 및 분석
- 나. 어구설계도 입력 프로그램 개발
- 다. 예망어구 수중형상 모델
- 라. 어장의 물리적 환경 모델
- 마. 수중 광학 환경 모델

2차년도 : 어류행동 및 어획 모델링

- 가. 어업생물 발생모델
- 나. 어구별 행동자극모델
- 다. 어종별 혼동반응모델
- 라. 어구별 어획모델
- 마. 현장조업과의 비교 및 검증

3차년도 : 통합 모델링 및 시뮬레이션

- 가. 어탐모델
- 나. 어선 운항모델
- 다. 세부모델의 통합
- 라. 통합모델의 시뮬레이션
- 마. 시뮬레이션 결과의 검증

제 1 절 현장조업자료 수집 및 분석

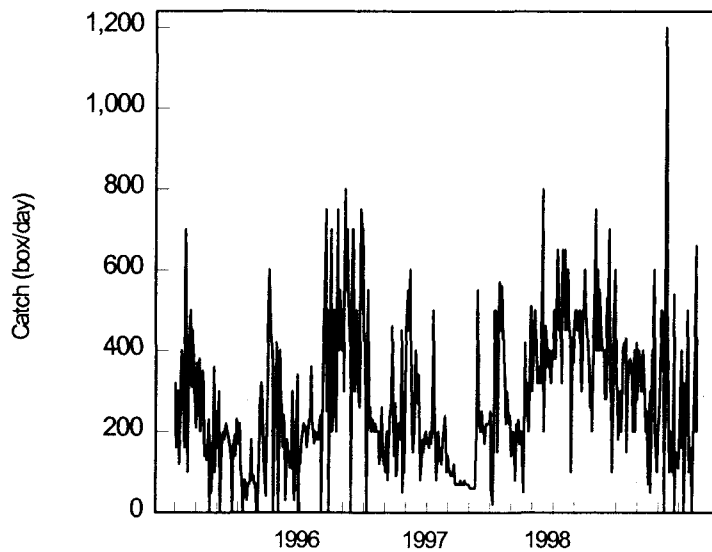
예망어업의 시뮬레이터 개발을 위한 모델의 개략적인 구성은 주 대상어업을 저층 트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권현망 등으로 하고, 각 어업별로 어장환경모델, 어업생물 모델, 어탐모델, 어선운항모델, 어구형상모델, 행동자극모델, 혼동반응모델, 어획모델 등의 하부 모델 등으로 구성하였다.

예망어업 모델의 구성과 검증을 위한 기초어획 자료로서 쌍끌이 기선저인망어업(100톤급 7통, 1996-1998년), 북양 명태트롤어업(5천톤급, 1995-1997년), 기선권현망어업(20톤급 1선단, 1995-1996, 1999-2001년)을 대상으로 조업위치, 예망수심, 예망시간, 어종 및 어획량 등을 수집, 분석하였으며, 그 결과의 요약은 <표 4>와 같다.

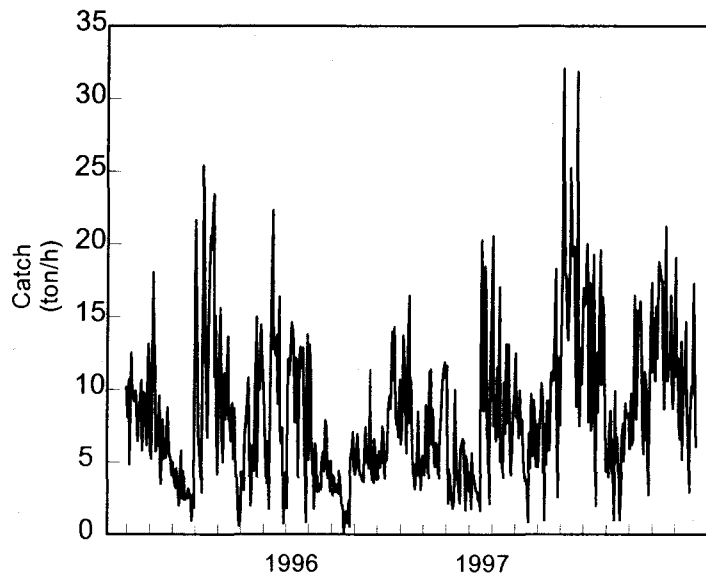
<표 4> 어업별 어획량의 평균 및 표준편차

어업	어선구분	일평균 어획량	표준편차	최소 어획량	최대 어획량	조업일수
기선저인망 (상자/일)	A	285.5	167.2	20	900	481
	B	227.6	151.2	20	700	336
	C	212.4	140.7	10	900	362
	D	214.9	144.7	10	840	369
	E	260.0	151.4	50	700	233
	F	326.2	208.0	30	1000	242
	G	251.0	174.0	20	1300	299
북양트롤 (kg/시)	H	8430	5110	170	32080	521
기선권현망 (발/일)	I	1598	1449	30	8500	147

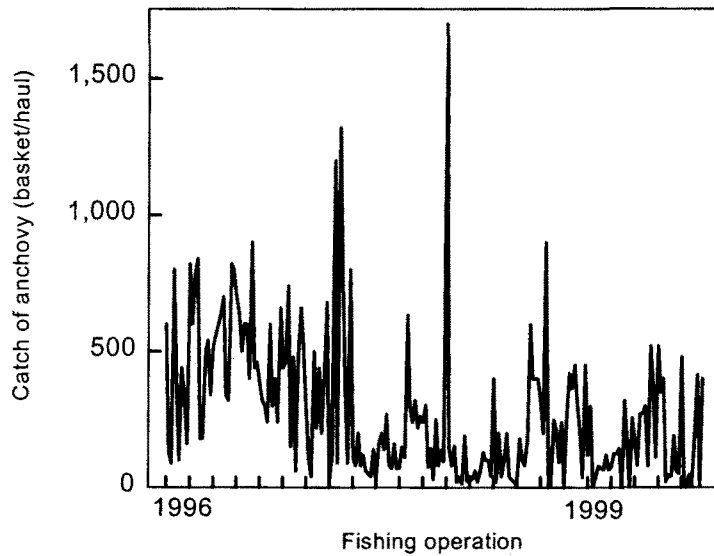
그 중 쌍끌이 기선저인망의 1일당 어획상자수는 <그림 20>에, 북양 명태 중층트롤의 시간당 평균어획량의 일변화는 <그림 21>, 기선권현망의 1일당 어획발수는 <그림 22>와 같이 어획량의 연변화는 비주기적이며 비선형적으로 복잡하게 혼돈적으로 변화하는 것으로 나타났다. 이와 같은 실제적인 어획량 변화 (Somerton & Munro, 2001; Weinberg et al., 2002)는 어획시물레이션에서 어탐되는 자원이나 조우되는 어군량과 어획과정에서의 어획선택성을 검증하는 기초자료로 이용될 것이다.



<그림 20> 근해쌍끌이 기선저인망의 1997년도 일 어획량(상자) 변동 예.



<그림 21> 북양 명태 중층트롤의 시간당 평균어획량(톤)의 일변화 예.



<그림 22> 기선권현망의 조업당 평균어획량(발)의 일변화 예.

제 2 절 어구설계도 입력 및 예망어구 수중형상

예망어구의 수중형상 모델은 기존의 프로그램 NETSIM (Ferro, 1989)을 사용하여, UNIX 환경에서 작동되던 것을 본 연구에서 구입, 제작한 알파클러스터 시스템의 LINUX 환경하에서의 COMPAQ 포트란 90으로 작동되도록 이식하고 오류를 수정하였다. 원프로그램에서 전개판 간격과 어포부의 저항을 직접 입력하던 것을 개선하여 전개판과 어포부 규격 및 조업상황 등에 따라 추정, 계산하도록 보조 프로그램을 추가하였다. 아울러 원프로그램에는 제외되었던 어포부의 3차원적인 형상도 디스플레이 될 수 있도록 보조 프로그램을 추가 개선하여, 출력데이터를 단순화시키면서 필요한 변수는 요약하여 기록하도록 하였다.

최근에 예망 어구형상의 시뮬레이션 프로그램들 (Lee, 2002; Vincent, 2003)이 소개, 시판되고 있으나, 본 연구에서 사용한 NETSIM은 어구의 유수저항에 의한 어구전개가 역학적인 힘의 평형에 의해서 순간적으로 정지된 것으로 가정하고 어구의 유한요소에 대한 3차원 형상 좌표를 계산하게 된다. 따라서 어구가 전개될 때 초기조건으로 후릿줄의 앞쪽 끝부분, 보통 전개판 연결점은 예인 고정점으로 설정해 주어야한다. 또한 어포부의 세부규격과 형상은 제외시키고 있으나 어구를 뒤에서 잡아끌어 전개시키는 어포부의 유수저항과 예상되는 어구의 초기 유수저항값을 입력하도록 되어있다. 따라서 본 연구에서는 이들 예인 고정점의 전개간격과 어포부의 유수저항은 간단히 구할 수 있도록 추산식을 산출하고 통합하여 원 프로그램에 추가, 개선하였다.

1. 예인 고정점 간격의 추산

본 프로그램에서의 전개판 간격을 구하는 것은 예망어구의 예망 중 힘의 평형에 의하여 이론적인 연구결과와 현장실측의 결과들이 다수 있다. 여기서는 Friedman(1967)과 Dickson(1967)의 보고를 이용하여 다음과 같이 추산하였다.

D: 예망수심,	L: 끌줄길이
C_d :전개판 항력계수,	C_l : 전개판 전개력계수
S :전개판 면적,	V: 예망속도
W: 전개판 수중무게,	R_l :전개판 부상력
R_g :전개판 접지력,	ρ :해수밀도

끌줄 끝에서의 전개판의 하강력 W_b 는 $W+R_g-R_g$ 이고 전개판의 유수저항 R_o 는 $C_d \rho S V^2/2$, 전개판의 전개력 F_o 는 $C_l \rho S V^2/2$ 로 나타낼 수 있다. 어구의 한쪽 유수저항 R_n 은 Koyama 의 식이나 그외 실측치를 참고하여 구할 수 있다. 그러면 끌줄 끝에서의 경각 A_o 는

$$A_o = \tan^{-1} \{W_b/(R_o+R_n)\} \quad (1)$$

이고, 어구저항에 대한 전개판의 전개력비 F_r 는 F_o/R_n 이고, 어구저항에 대한 전개판의 저항비 R_r 는 R_o/R_n 이다. 끌줄이 현수곡선을 이룬다고 가정하면 중앙처짐 Y 는 다음과 같다.

$$Y = (W^2 - D^2)/(2D) \quad (2)$$

그러면 끌줄의 수평면상 길이 L_h 는 다음식으로 구해진다.

$$L = Y \sinh(L_h/Y) \quad (3)$$

예인 중앙점에서 전개판까지의 간격 X 는 다음 식에서

$$F_r - (1 + R_r)X/L_h = X/\sqrt{L_f^2 - X^2} \quad (4)$$

임의의 X 값을 반복대입하여 최적의 전개간격 X 를 구할 수 있다. 여기서 구한 전개간격은 어구저항 R_n 에 대한 근사식을 이용했다. 어구의 저항은 어구의 전개정도에 따라 다르고 또한 전개간격에도 영향을 미치므로 완전하게 평형의 상태를 구하는 것

은 본 시뮬레이션에 의한 자루그물 어구저항을 사용하여 반복 계산으로 고정점을 여러 단계로 변화시키면서 전개간격을 구할 수 있다.

2. 어포부저항의 추산

Ferro (1989)의 트롤 형상시뮬레이션 'NETSIM'에서는 어구전개의 초기작용력으로써 끝자루 부분의 저항을 입력하도록 되어있다. 끝자루의 유수저항은 트롤어구 전체 유수저항의 약 10% 내외로 알려져 있고 Nylon으로 구성된 끝자루의 저항을 측정할 결과 예망속도, 입구둘레, 입구의 폭과 길이 방향 망목수 등이 크게 영향을 미치는 것으로 조사되었다 (Ferro and Stewart, 1987). Stewart and Ferro (1987)는 구성을 다르게 한 몇 가지 종류의 나일론 끝자루의 저항을 측정하고 오직 하나의 변수인 예망속도에 관한 실험식을 보고하였을 뿐, 어구설계에서 필요한 끝자루 구성요소에 관한 산출식은 보고된 바가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 자루그물의 유수저항에 관한 이론과 기존의 연구보고 중에서 Stewart and Ferro (1987)의 끝자루의 구성을 다르게 한 총 12개의 저항 측정결과를 이용하여 어포부의 유수저항에 관한 추산식을 도출하였다.

예망속도 V 일 때, 어포부의 유수저항(Ferro and Stewart, 1987) $R=KV^n$ 로 하고, 끝자루 앞부분의 성형둘레 를 C 라 하면, 끝자루 앞부분의 예인방향 단면적 A 는 $0.25C^2/\pi$, 망사직경 d , 다리길이 l 로 한다. 저항계수 K 는 끝자루의 끝 부분을 묶었을 때와 끝 부분을 원판으로 막아서 어획물이 있는 것처럼 했을 경우의 유수저항식의 계수 a 는 Ad/l 에 대하여 가장 상관관계가 높아서 최소자승법에 의한 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

끝부분 결박시: $K=8.707\exp(5.325Ad/l)$ (자료개수 $N=9$, 상관계수 $r=0.727$)

끝부분 폐쇄시: $K=19.303\exp(3.17A8d/l)$ ($N=9$, $r=0.793$) (5)

정방형그물코: $K=17.819\exp(5.325Ad/l)$

또한 지수 n 의 경우에는 끝자루의 구성요소와의 유의적인 상관관계를 인정할 수 없었으므로 단지 유속에 관한 값으로 보아 평균값 1.71로 나타났다. 따라서 끝자루가 비어있는 경우로 볼 수 있는 결박시와 끝자루에 고기가 어느 정도 어획된 경우로 볼 수 있는 폐쇄시의 a 값을 평균하여 유속(V :knot)에 대한 끝자루의 저항 (R :kg)식을 추정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

마름모 그물코: $R=14.0 \exp(4.252Ad/l) V^{1.71}$

정방형 그물코: $R=17.82 \exp(5.325Ad/l) V^{1.71}$ (6)

3. 자료입력 방법

그물자료 입력은 어구설계도면을 어구형상 프로그램에서 인식할 수 있도록 각부분의 구성을 수치적으로 변환하는 것이다. 그물자료 입력 메뉴인 <그림 61>에 나타낸 바와 같이 구체적인 입력요소의 변환 및 입력 방법은 다음과 같다.

(가) 제목

제목은 각 어구의 설계번호와 특징 등을 문자와 숫자 등으로 80자 이내로 한다.

(나) 예인 고정점(전개판 위치)

- ① 예인 고정점수(자연수): 좌우대칭인 어구에서 통상 오른쪽 반쪽을 입력할 때 전개판과 연결되는 후릿줄의 수
- ② 3개실수: 전개판 또는 끌줄 끝 고정점의 3차원 X,Y,Z 좌표(단위 m), 예인 좌우 대칭으로 부터 보통 오른쪽 한편을 입력하므로 위에서 계산결과 X 좌표는 모두 양수로 된다.
- ③ 후릿줄길이 (m), 후릿줄의 직경(mm), 그물쪽 연결 꼭지점 번호(개략도에서 꼭지점의 일련번호를 매긴다)
- ④ 전개되기 전 그물몽치의 X,Y,Z위치: 대칭으로 한쪽만 입력할 경우 X 는 0, Y는 중층 또는 저층에 따라 적당한 수심, Z는 날개끝 부분의 위치로 한다.

(다) 그물판 자료입력

그물판의 일련번호에 따라 망지 요소들과 그물판의 상호 연결관계를 입력한다.

- ① 그물판수: 좌우대칭인 어구에서 통상 오른쪽 반쪽의 그물판 수, 30개이하.
- ② 세로방향 다리수: 각판의 길이방향 다리수, 즉 콧수의 2배임.
- ③ 윗변 그물콧수
- ④ 밑변 그물콧수
- ⑤ 내측 그물콧수(inset): 삼각망지나 사다리꼴 망지의 왼쪽면에서 밑변이 윗변보다 짧을 경우에는 그 콧수차이에 +부호, 윗변이 짧을 경우에는 -부호이다.
- ⑥ 다리길이(mm)
- ⑦ 망사직경(mm)
- ⑧ 대칭변: 좌우대칭인 어구에서 각그물판이 대칭을 이루는 변의 경우 그물변의 인식번호. 그물변의 인식번호는 좌측변은 1, 밑변은 2, 우측변은 3, 윗변은 4로 하며, 삼각망지는 3개변만 번호가 있다.

- ⑨ 전개방향: 각 그물판이 실제로 전개될 경우 전개방향 번호로 상방은 2, 하방은 6, 측방(우측)은 8, 상방 대각선방향은 1, 하방 대각선방향은 7이다.
- ① 모형비: 유한요소법의 절점 축소비를 말하는 것으로 보이나 실질적인 영향은 없는 것으로 보인다.
- ② 하부 그물판번호: 밑면에 연결되는 그물판번호, 그물판이 없으면 0이다.
- ③ 좌변 그물판번호: 좌면에 연결되는 그물판번호, 그물판이 없으면 0이다.
- ④ 우변 그물판번호: 우면에 연결되는 그물판번호, 그물판이 없으면 0이다.
- ⑤ 상하, 좌우 그물판 번호:윗판은 1, 옆판은 2, 밑판은 3이다.

(라) 그물변 수치

입력해야 하는 그물변은 로프 등의 뼈대줄로 연결되는 변에 한하며 차례로 입력한다.

- ① 총 그물변수: 75개이하
- ② 그물변 인식번호:
- ③ 그물판 일련번호
- ④ 전개방향번호: 변이 속한 그물판의 전개방향 번호를 원칙으로 하되 대각선 방향 번호를 사용해도 된다.
- ⑤ 그물변 형태번호: 망구쪽은 2, 옆마함부분은 4, 내측 연결변은 1이다.
- ⑥ 성형율: 그물변 인식번호 1, 3(측면)인 경우에는 그물 뺨친길이에 대한 줄의 길이의 비이고, 그물변 인식번호 2, 4(상,하변)인 경우에는 뺨친길이의 반(다리길이×콧수)에 대한 줄의 길이비로 한다.
- ⑦ 주변 그물변 수치: 주변 연결되는 그물변의 형태번호와 성형율을 최대 3개 그물변에 대해 입력가능하나 꼭 필요한 연결부 정보만 입력토록 하며 보통은 주변 1개그물변에 대해서만 입력하는 것이 좋다.

(마) 그물 꼭지점 정보

각 그물판의 꼭지점들이 그물변들과 상호 연결되는 정보를 입력하는 것으로 ⑦번 부터의 주변연결부 꼭지점 정보는 꼭 필요한 경우에만 명확하게 입력한다.

- ① 총꼭지점수: 50개이하
- ② 전개방향번호:
- ③ 전개자유도: 보통 3축자유도로 3이나 밑판과 같은 경우 해저에 닿는 것으로 2로 할 수도 있다.
- ④ 주변 그물변 정보: 4개의 주변 그물변에 대하여 입력가능하고, 하나의 그물판에 대하여 하나의 그물변에 대한 그물판 번호, 그물변 인식번호, 변에서의 꼭지점 위치비율을 입력한다. 꼭지점 위치비율은 상하변(2,4변)은 좌

측끝이 0.0이고 우측 끝이 1.0, 측면은 위쪽 끝이 0.0, 아래쪽 끝이 1.0이다. 꼭지점이 모퉁이에 있으면 상하변을 열거하며, 삼각망지이면 그물변1에 대하여서만 입력한다.

(바) 부력 및 침강력

부자와 침자 등의 부력과 침강력 및 그 작용위치를 입력하는 것으로 작용점 수는 20개 이하이어야 하므로 우선 그물변에 따른 총부력과 침강력을 구하고 그 비율에 따라 적정수로 배분한다.

- ① 총부력 및 침강력 작용점수: 20개이하
- ② 그물변 형태번호
- ③ 그물변 인식번호
- ④ 그물판 일련번호
- ⑤ 부력 및 침강력의 작용점 그물변상 위치 비율
- ⑥ 부력 및 침강력(N): 부력은 +, 침강력은 -이며, 단위가 kgw이면 중력가속도 9.8을 곱한다.
- ⑦ 저항계수×단면적(m²): 레이놀즈수에 의한 구의 저항계수로 추정한다.

(사) 예망속도, 어포부 자료 및 입력축소비

예망속도와 어포부 자료는 다음의 수치정보를 입력하면 위에서와 같은 방법으로 어포부의 저항을 추정하게 된다.

- ① 예망속도(m/sec)
- ② 어포부 전체 폭방향 그물콧수
- ③ 어포부 전체 길이방향 그물콧수
- ④ 망목다리 길이(mm)
- ⑤ 망사직경 (mm)
- ⑥ 길이방향 성형을
- ⑦ 입력축소비: 위에서 언급한 제한조건 등에 의하여 원형어구로의 입력이 안 될 경우 그물콧수 등을 변경하여 절대길이를 축소하면 축소비의 역수로, 1/4이면 4, 실물크기 그대로이면 1을 입력한다.

4. 어포부의 형상

어포부의 수중형상은 어포부의 구성과 어획정도에 따라 달라지는 것으로 기존의 수중형상모델 NETSIM (Ferro, 1989)에는 제외되어 있었고, Neil(1997)와 차 등(2002)은 어포부 그물코 형상을 모형실험과 수치해석을 한바 있다. 여기서는 어구 형상을 나

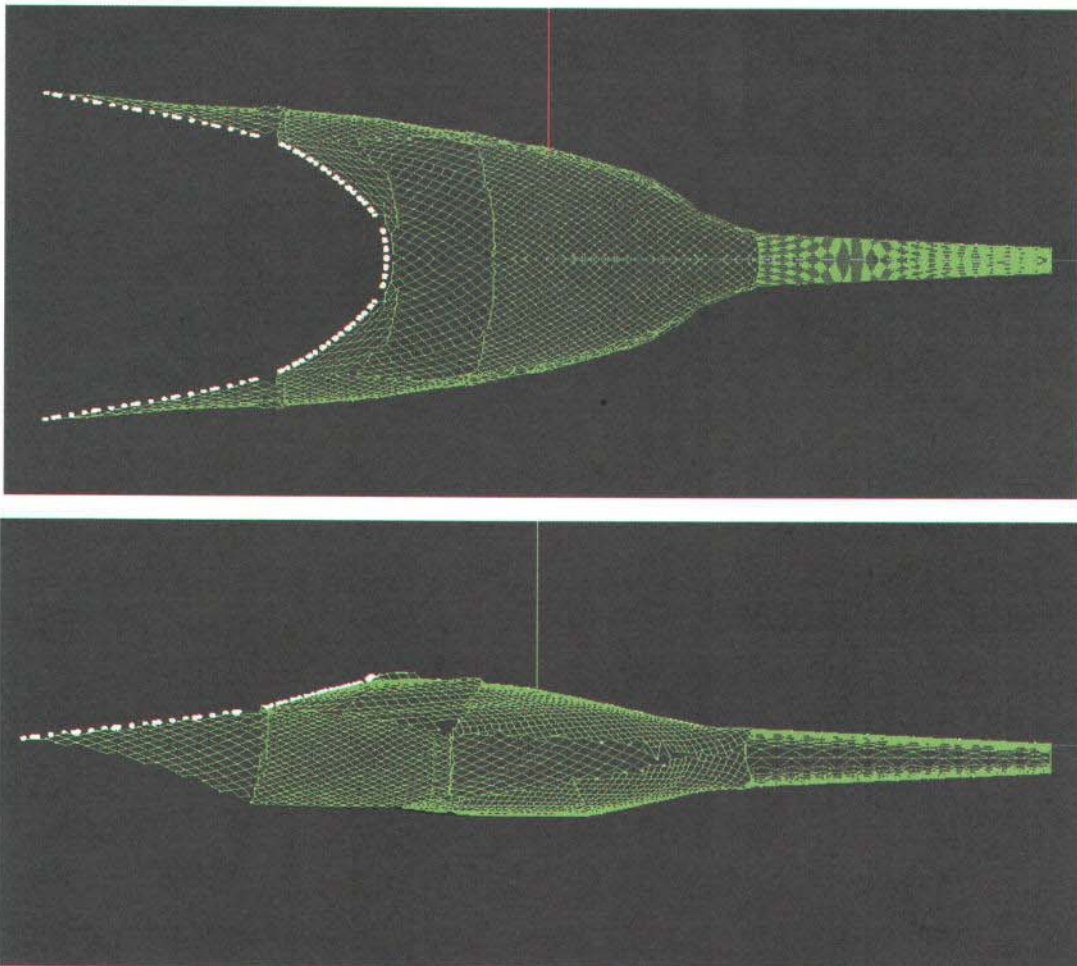
타내는 NETSIM의 원프로그램에서 제외되었던 어포부의 형상을 실물어구의 비디오 관찰 결과 등을 분석, 참고하여 대략적으로 추산하고 3차원적으로 도시하였다.

비디오 관찰결과에서 어포부의 단면은 자루 끝부분에서 연장되어 타원형으로 보이다가 어포부 중간에서부터 끝부분에 어획물이 누적되게 되면 거의 원으로 되며 그 원의 직경 또한 어획량의 증가에 따라 점차 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 어포부의 단면을 타원으로 보면 수평직경을 a , 수심방향 직경을 b 일 때, 예인방향에 수직인 전개방향좌표 X , 수심좌표 Y 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1 \quad (7)$$

또한 수평직경 a 와 수심방향 직경 b 를 예인방향 좌표 Z 에 따라 변하는 것으로 다음과 같은 다항식으로 표현할 수 있다.

$$a, b = c_0 + c_1 Z + c_2 Z^2 + c_3 Z^3 + c_4 Z^4 \quad (8)$$



<그림 23> 북해형4매식 트롤의 끝자루부분을 추가한 수중형상의 예
(위:평면도, 아래:측면도).

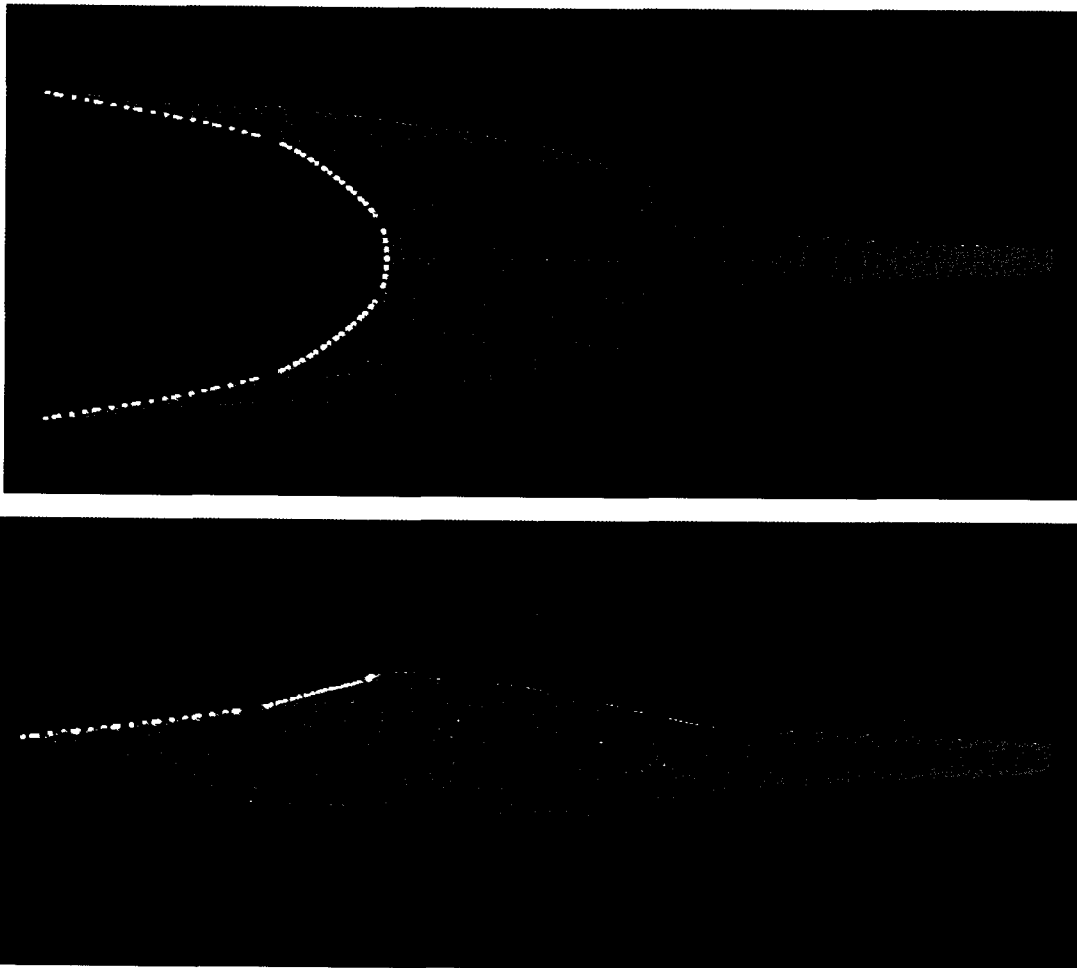
타내는 NETSIM의 원프로그램에서 제외되었던 어포부의 형상을 실물어구의 비디오 관찰 결과 등을 분석, 참고하여 대략적으로 추산하고 3차원적으로 도시하였다.

비디오 관찰결과에서 어포부의 단면은 자루 끝부분에서 연장되어 타원형으로 보이다가 어포부 중간에서부터 끝부분에 어획물이 누적되게 되면 거의 원으로 되며 그 원의 직경 또한 어획량의 증가에 따라 점차 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 어포부의 단면을 타원으로 보면 수평직경을 a , 수심방향 직경을 b 일 때, 예인방향에 수직인 전개방향좌표 X , 수심좌표 Y 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1 \quad (7)$$

또한 수평직경 a 와 수심방향 직경 b 를 예인방향 좌표 Z 에 따라 변하는 것으로 다음과 같은 다항식으로 표현할 수 있다.

$$a, b = c_0 + c_1 Z + c_2 Z^2 + c_3 Z^3 + c_4 Z^4 \quad (8)$$



<그림 23> 북해형4매식 트롤의 끝자루부분을 추가한 수중형상의 예
(위:평면도, 아래:측면도).

자루끝 부분에서의 초기 수평직경 a 와 초기 수심방향 직경 b 를 결정하는 c_0 는 자루 끝부분에서의 X, Y 좌표에 의해서 그 형상이 주로 결정될 것이며, 끝자루의 끝부분에서 어포부 단면이 타원에서 원으로 바뀌는 것은 $a=b$ 로 하면 된다. 이러한 모델을 이용하여 북해형 4매식 트롤의 끝자루 부분을 길이 10m로 하여 각 노드의 3차원좌표를 계산하고 수중형상을 도시한 결과는 <그림 23>과 같다.

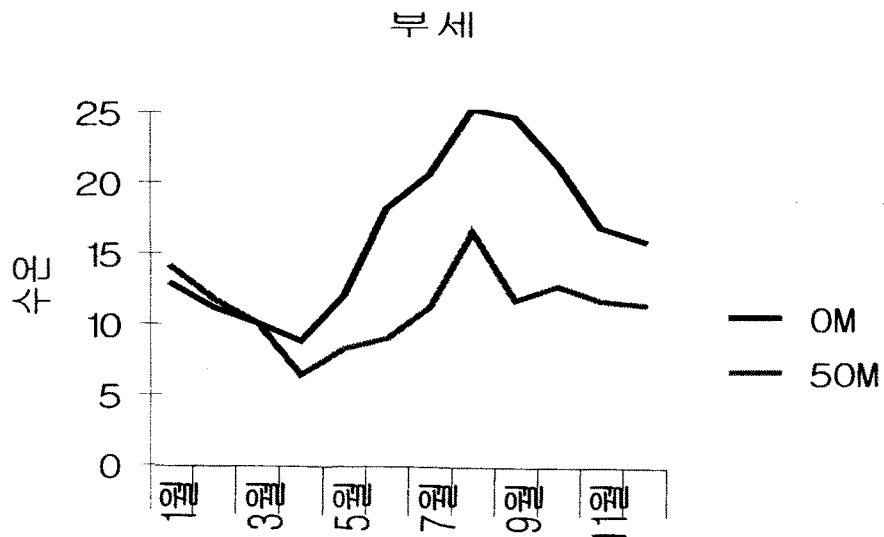
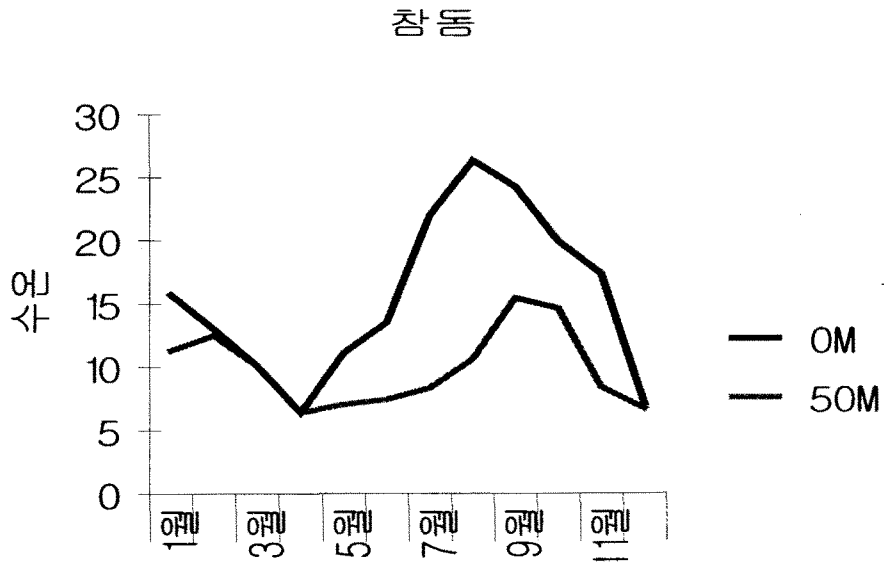
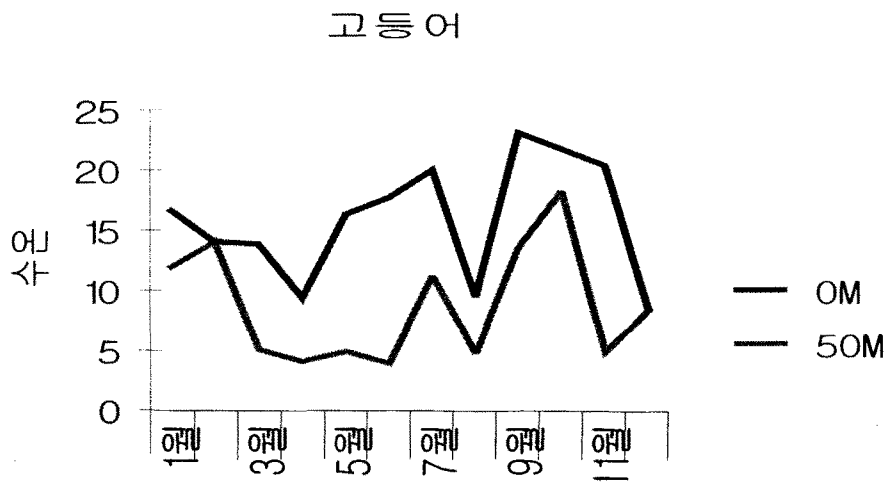
제 3 절 어장의 물리적 환경모델

일반적으로 예망어업의 대상이 되는 어장의 물리적 환경으로 중요한 요인으로 수온, 염분, 해수유동, 수색, 투명도 등은 해역별, 계절별 관측자료를 이용하여 나중에 언급하는 우리나라 주변 주요어종의 회유경로에 따라 월별 변화를 추정하였다. 다음으로 예망어업의 대상이 되는 어장의 해저는 암초지대처럼 그 요철이 그리 심하지 않은 것으로 볼 수 있다. 따라서 해저의 완만한 요철과 저질(빨, 모래, 자갈) 등은 랜덤하게 분포하는 것으로 난수를 발생시켜 0과 1사이의 정도를 가지고 상대적인 크기나 발생위치를 분포하게 하였다. 구체적인 그래픽은 다음 세부과제에서 그래픽하고 예인에 따라 해저 등 수중환경이 이동하도록 애니메이션 하였다.

1. 회유경로에 따른 수온변화

우리나라 주변에 주요어종의 월별 회유경로에 따른 표면수온과 50m 수층의 추정 수온은 <그림 24>와 같다. 고등어의 회유경로의 월별 표면수온은 3~4월경 최저로 9°C 정도이고 8~9월경에 23°C이었고, 수심 50m에서의 수온은 5~6월경 최저로 4°C 정도였고, 8~9월경에 최고로 18°C 였다. 참돔의 회유경로의 월별 표면수온은 3~4월경 최저로 7°C 정도이고 8월경에 최고로 25°C이었고, 수심 50m에서의 수온은 3~4월경 최저로 7°C 정도였고, 9월경에 최고로 15°C 였다.

눈볼대의 회유경로의 월별 표면수온은 12~1월경 최저로 7°C 정도이고 7월경에 최고로 28°C이었고, 수심 50m에서의 수온은 10~11월경 최저로 3°C 정도였고, 9월경에 최고로 22°C 였다. 눈볼대의 회유경로의 월별 표면수온은 3~4월경 최저로 8°C 정도이고 7~8월경에 24°C이었고, 수심 50m에서의 수온은 3~4월경 최저로 6°C 정도였고, 7~8월경에 최고로 16°C 였다. 방어어의 회유경로의 월별 표면수온은 3~4월경 최저로 3°C 정도이고 7~8월경에 24°C이었고, 수심 50m에서의 수온은 3~4월경 최저로 2°C 정도였고, 10~11월경에 최고로 20°C 였다. 서해안으로 북상하는 갈치의 회유경로의 월별 표면수온은 3~4월경 최저로 10°C 정도이고 8월경에 최고로 26°C 정도이었고, 수심 50m에서의 수온은 4~5월경 최저로 8°C 정도였고, 9월경에 최고로 16°C 정도였다. 갈치의 어획적수온은 1~2월에 최저로 10~12°C 정도였고, 8~9월에 최고로 18~20°C 로 나타났다.



<그림 24> 주요 어종의 월별 회유경로에 따른 표면수온과 50m 수층의 추정 수온

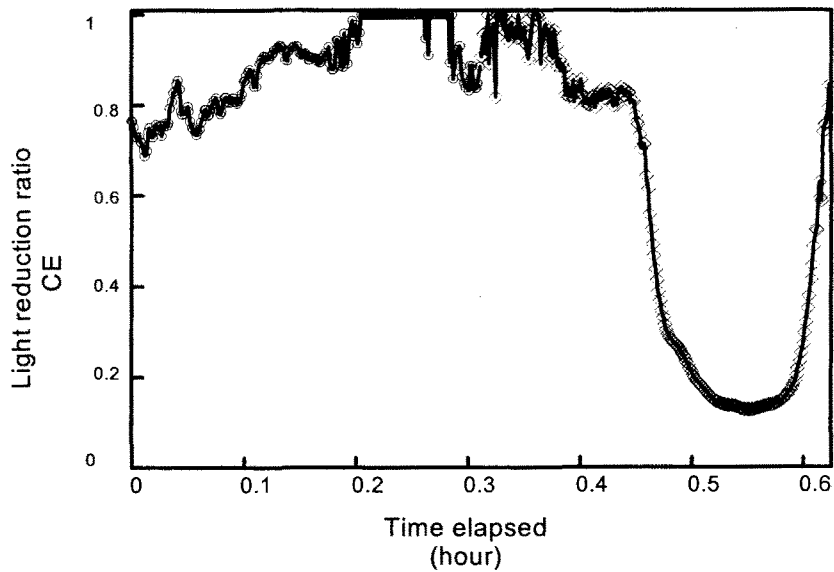
2. 회유경로에 따른 염분변화

고등어의 회유경로에 따른 월별 염분변화는 8~9월경에 최저로 32.3%였고, 6~7월경에 34.4%로 최고였다. 참돔의 회유경로에 따른 월별 염분변화는 6~7월경에 최저로 31.3%였고, 2~3월경에 34.5%로 최고였다. 눈볼대의 회유경로에 따른 월별 염분변화는 7~8월경에 최저로 31.3%였고, 3~4월경에 34.5%로 최고였다. 부세의 회유경로에 따른 월별 염분변화는 6~7월경에 최저로 30%였고, 2~3월경에 34.5%로 최고였다. 방어의 회유경로에 따른 월별 염분변화는 8~9월경에 최저로 32.3%였고, 2~3월경에 33.8%로 최고였다. 갈치의 회유경로에 따른 월별 염분변화는 7~8월경에 최저로 32%였고, 2~3월경에 34.5%로 최고였다.

3. 수중광학 모델

예망어구에 대한 어류의 대망행동에 주된 영향을 미치는 수중광학 모델은 기존의 연구결과 (Kim and Wardle, 1998)에 추가하여 우리나라 주변 연근해의 광흡수계수를 직접 측정하여 계산하거나 관련 조사자료에서부터 수집, 정리하였다. 수중에서의 빛의 밝기는 태양광 에서부터 출발하여 공기 중 흡수와 수면에서의 입사 정도에 따라 변화하게 된다. 따라서 본 연구에서는 보다 자연광의 현상을 실질적으로 모델링하고 시뮬레이션하기 위하여 <그림 25>의 예와 같은 변화무쌍한 날씨변화를 여러 가지 패턴으로 구분하여 선택되도록 하였다. 단시간 내에 태양고도의 변화에 따른 조도변화 외에는 거의 변화가 없는 경우에서부터 약 10분간에 정상조도의 20%이하로 어두워졌다가 다시 밝아지는 극한 상황까지를 10단계정도로 나누어 날씨변화를 줄 수 있다.

수중에서의 광흡수는 수중조도에 영향을 미치는 수직광흡수계수 (Vertical Attenuation Coefficient)와 시정에 영향을 미치는 휘도흡수계수 (Beam Attenuation coefficient)에 의존하는 바가 크다. Jerlov (1976)는 전세계 해양의 수직적인 광흡수정도를 연안역 5단계와 대양역 5단계로 각각 분류하였는데 Jerlov의 자료를 가지고 광흡수계수를 산출한 결과는 <표 5>와 같이 연안역에서는 0.12-0.78 정도이고 대양역은 0.05-0.12 정도였다. 우리나라 남해동부 연안에서의 수직 광흡수계수 (양, 1980, 김 등, 2001)는 0.2-1.0 정도로 변화의 차이가 크다고 보아지므로 본 모델에서는 임의적으로 계수를 지정하거나 아니면 <표 5>에 따라 선택할 수 있다.



<그림 25> 날씨 변화에 따른 공중에서의 조도비율 변화의 예.

<표 5> 연안역과 대양역의 수직광흡수계수의 분류

연안역				대양역			
구분	수직광 흡수계수	자료수	상관 계수	구분	수직광 흡수계수	자료수	상관 계수
1	0.1560	7	0.975	I	0.0453	9	0.968
3	0.2681	6	0.963	I A	0.0523	9	0.975
5	0.4005	6	0.982	I B	0.0624	9	0.979
7	0.5961	5	0.971	II	0.0778	9	0.983
9	0.7802	5	0.983	III	0.1144	8	0.947

4. 저층 뽕물 발생 모델

또한 저층트롤이나 기선저인망 및 기선권현망 등에서 발생하는 뽕물이 어구의 시각자극이나 어류의 시각적 시인도에 크게 영향을 미치게 되므로 뽕물의 발생범위 및 확산 정도와 뽕물의 시각적 대비도에 의한 자극정도를 다음과 같이 모델링하였다.

우선 북해트롤의 현장조업에서 수중비디오 카메라로 관찰된 전개판에 의하여 발생하는 뽕물 (Sand cloud)이 확산되는 경향과 형상을 분석하고 3차원인 형상을 수치 모델링하였다. 전개판에 의하여 발생하는 뽕물 (Main & Sangster, 1981a)은 전개판의 종류, 접지면적과 중량 및 저질에 따라 변화되는 것으로 관찰되어 전개판에서부터 예

인방향으로의 거리 Z_c 에 따른 뺨물의 폭 $S_c(m)$, 뺨물의 높이 $H_c(m)$, 후릿줄에서 부터의 거리 $D_c(m)$ 을 자연대수 실험식으로 나타내었다(Kim & Wardl, 1998).

일단 발생한 뺨물의 확산은 전개판의 후류 와류와 해수유동 및 뺨물을 구성하는 입자의 크기와 종류 등에 따라 영향을 받을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 위식에서의 절편과 비례상수들을 해저의 저질과 전개판의 종류와 규격 등 여러조건에 따라 변화하는 것으로 가정하고 관계식을 도출하였다. 저질이 뺨물이 일어나는 정도 m 은 뺨물이 최고로 잘일어나는 경우를 1로 하고, 전혀 일어나지 않는 경우를 0으로 한다. 전개판의 면적(A_b, m^2)과 높이(H_b, m)에 따른 비례상수를 j_c 라하고, 예인방향과 해수유동 방향과의 차이(B)에 대한 비례상수를 j_d , 예인속도($V, m/s$)와 조석이나 해류속도와의 차이에 대한 비례상수를 j_e 라 하면 위식의 비례상수에 관련된 함수 J 는 예망속도와 전개판의 면적에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J=(j_d+j_e V)(0.975+j_c A_b/60) \quad (9)$$

따라서 위식(9)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_c &= j_d (s_0+(A_b-1.7)j_c) + J s_1 \ln(Z_c) \\ H_c &= h_0+(H_b-1)j_c + h_1 \ln(Z_c) \\ D_c &=(1-j_d) (d_0+(A_b-1.7)j_c)+ J d_1 \ln(Z_c) \end{aligned} \quad (10)$$

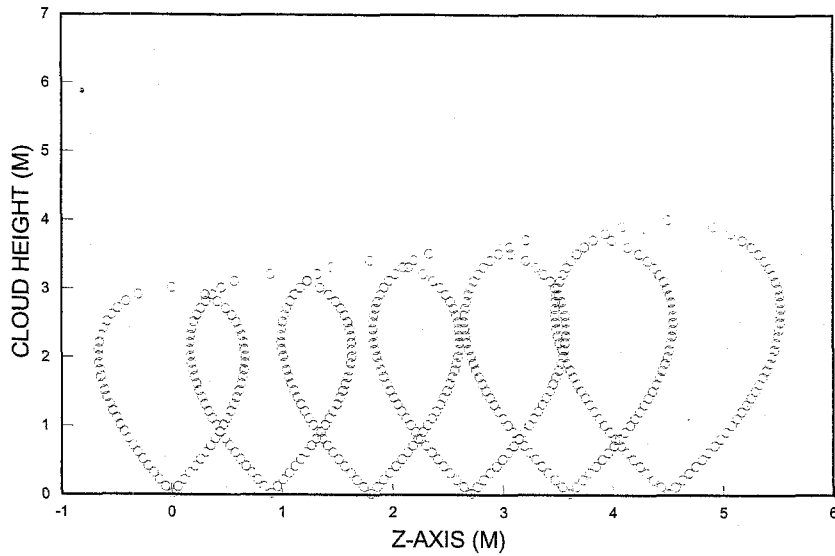
따라서 어구형상의 좌표에서 뺨물의 높이 좌표 $Y_c(Z_c)=H_c(Z_c)$ 이고, 후릿줄의 평면 좌표를 $X_b(Z_c)$ 라 할 때 뺨물의 후릿줄 내측좌표 $X_{c1}=X_b(Z_c)-D_c(Z_c)$ 이고 외측좌표는 $X_{c2}=X_{c1}(Z_c)+S_c(Z_c)$ 로 나타낼 수 있다.

한편 전개판에 의한 뺨물이 뭉개구름처럼 확산되는 측면형상을 Y-Z좌표에서 2차원적으로 나타내기 위해 뺨물의 한블럭은 그폭이 W_c 이고 블럭간 간격을 U 라 하면 다음과 같다.

$$Z_c=Z_0-V+\sqrt{Y_c^2(H_c-Y_c)/W_c} \quad (11)$$

이때 $Z_0=7.5$, $W_c=3$, $V=4/3$ 일 때 시뮬레이션 결과의 측면 단면 형상은 <그림 26>과 같다.

한편 발출의 보빈과 밀판 등에 의한 뺨물은 전개판에 의한 뺨물과는 달리 알게 깔리면서 확산되어 자루그물의 통로와는 확연히 구별되는 시각적인 모습을 보여주는 것으로 관찰되었다.

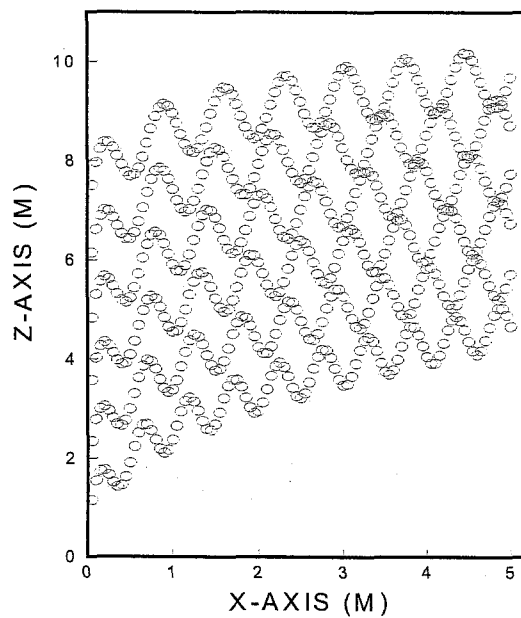


<그림 26> 전개판에 의해 발생하는 뿔물의 확산 모델 측면 단면 형상의 개략도.

발출에 의한 뿔물의 시각적인 대조 형상을 간단하게 수치화 하기 위해 발출과 평행한 X좌표에서 sine 곡선의 주기를 P_c 라 하고, Z좌표에서의 진폭을 B_c , sine 곡선의 간격을 I_z 라하고, 뿔물 끝에서 부터의 X좌표의 차이를 X_d , 발출의 좌표 (X_g, Z_g)라 하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_c = Z_g + I_z + \sin(m X_d P_c) B_c \quad (12)$$

그 결과의 예는 <그림 27>과 같다.



<그림 27> 트롤 발출과 밀판에 의해 발생하는 뿔물의 확산 모델 평면 형상.

제 4 절 예망어업 모델링

예망어업의 시뮬레이터 개발을 위한 모델의 전체적인 구성에서 어장환경모델과 어구형상모델 등을 기초로 예망업종을 저층트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권현망 등을 대상으로 주대상 어종을 10여종 선정하여, 어류발생 모델, 행동자극 모델, 혼동반응 모델 및 어획모델 등을 다음과 같이 수행하였다.

1. 어류발생모델

예망어업 시뮬레이션에서 어획되는 어종의 선택은 연근해 주요 예망어업의 업종이라 볼수 있는 대형트롤, 외끌이 및 쌍끌이 기선저인망과 원양어업의 북양트롤, 태평양트롤, 대서양 트롤 및 인도양 트롤 등의 업종에 따라 1997-2001년까지 최근 5개년간 가장 어획비율이 높은 상위 5개 어종을 조사한 결과 <표 6>과 같다.

<표 6> 업종별 다획어종의 어획비율 (1997-2001년간 5년평균, 해양수산통계연보)

예망업종	연평균 어획량 (톤)	어종 (%)	어종 (%)	어종 (%)	어종 (%)	어종 (%)	기타 (%)
대형트롤	126,467	오징어류 (65.1)	갈치 (11.6)	쥐치류 (7.5)	멸치류 (3.1)	고등어류 (2.9)	9.8
외끌이대형 기선저인망	14,200	가자미류 (13.9)	강달이 (10.0)	오징어 (7.0)	멸치류 (6.3)	붕장어 (6.1)	56.7
쌍끌이대형 기선저인망	101,173	강달이류 (22.1)	갈치 (18.1)	삼치류 (10.4)	고등어류 (6.7)	참조기 (6.5)	36.2
외끌이서남 해구기선저인망	19,781	가자미류 (20.7)	멸치류 (11.6)	낙지 (11.5)	꽁치 (8.2)	붕장어 (6.5)	41.5
근해안강망	100,166	강달이류 (24.8)	갈치 (13.7)	젓새우 (6.9)	참조기 (6.8)	멸치류 (4.7)	43.1
기선권현망	103,982	멸치류 (93.4)	전어 (0.9)	-	-	-	5.7
북양트롤	117,605	명태 (98.0)	청어 (1.3)	-	-	-	(0.7)
태평양트롤	55,160	오징어 (20.4)	민태 (13.3)	민어 (11.4)	조기류 (8.9)	가오리 (5.4)	(40.6)
대서양트롤	69,638	오징어 (30.6)	민어 (24.4)	가오리 (5.6)	서대 (3.8)	갈치 (2.9)	(32.7)
인도양트롤	19,696	갈치 (39.1)	돔류 (19.9)	갑오징어 (5.6)	조기류 (3.6)	능성어 (3.6)	(28.2)

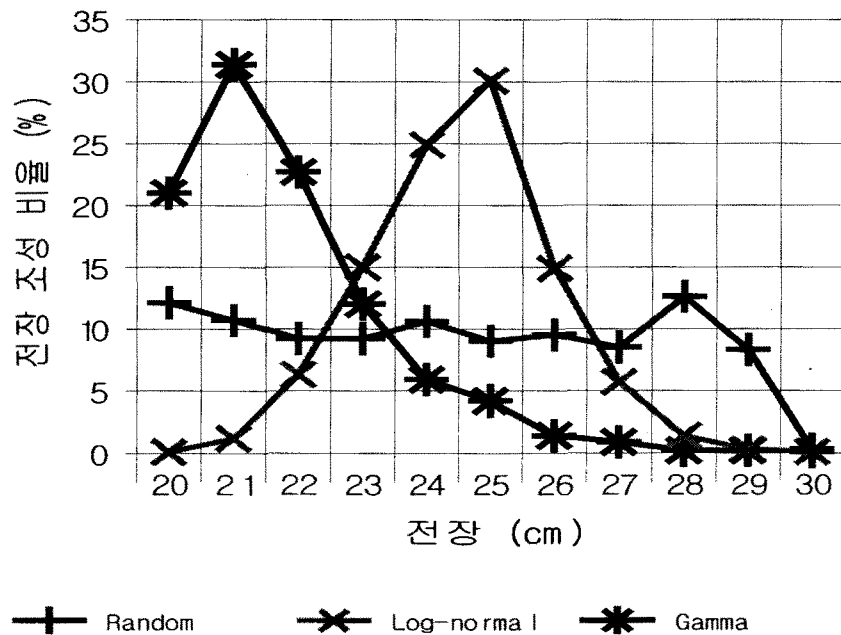
통계자료로 사용한 해양수산통계연보는 생물학적인 의미에서의 어종별로 통계를 잡은 어종은 많지 많으므로 비슷한 무리의 어종을 통틀어서 **류로 표기된 것이 많다. 연근해 어장에서의 예망어업에서는 한번에 어획되는 어종이 매우 다양한 특징이 있으나 여기서는 공통적으로 어획량이 많은 대표어종으로 오징어, 갈치, 달강어, 삼치, 참조기, 말쥐치, 물가자미와 기선권현망의 멸치, 원양트롤에서 명태, 민어류, 민태 등을 우선 선정하였다. 예망어업의 혼동행동 모델 (Kim, 1996)에는 어류의 크기, 감각 예민도 및 유연능력 등이 어종별로 파악되어 수치화 되어야 하나, 위에서 선정된 주요어종에 대하여 기존의 조사, 연구된 자료는 거의 없으므로 여기서는 조사된 어종들과의 비교에 의하여 감각 예민도와 유연능력 등을 추정하였다.

어종별 어류의 연령에 따른 체장과 체중의 관계는 기존 조사, 보고된 자료를 인용하였으나 연령에 따른 체장 관계식은 보다 간단하게 지수식이나 자연대수식으로 다시 구하였다. 체장에 따른 체중 관계식도 일부 어종에 대해서는 단위를 cm 와 g으로 통일하여 지수식으로 다시 표현하여 성숙체장과 함께 구한 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7> 주대상어류의 성장식과 체장체중식

어종	성장식(체장:cm): 연령(세)	체중 (g): 체장(cm)	성숙체장 (cm)
오징어	27.44-39.9exp (-0.1886월) (2-6월) 26.65-73.1exp (-0.1471월) (7-10월) 31.40-169.3exp(-0.1549월) (11-1월)	0.0091(외투장;cm) ^{3.2412}	20
갈치	9.2655+17.7842 ln(연령)	0.06321(두동장) ^{2.5456}	26
달강어	13.1739(연령) ^{0.5129}	0.004122(체장) ^{2.882}	24
삼치	56.0352(연령) ^{0.3102}	0.005758(체장) ^{3.0332}	78
참조기	15.7655+8.9666 ln(연령)	0.004298(체장) ^{3.221}	19
말쥐치	15.6697(연령) ^{0.3262}	0.004068(체장) ^{3.32}	21
물가자미	10.2366(연령) ^{0.6082} (암) 8.5781(연령) ^{0.7136} (수)	0.009215(체장) ^{3.055} (암) 0.004237(체장) ^{3.262} (수)	27
명태	16.3123(연령) ^{0.6348}	0.005762(체장) ^{2.9821}	34
민어	13.2042+25.4389 ln(연령)	0.004283(체장) ^{3.1453} (암) 0.005793(체장) ^{3.0238} (수)	50
민태	7.7983(연령) ^{0.7216}	0.00501(체장) ^{3.084}	12
멸치	10.034(연령) ^{0.2769}	4.0(미차체장) ^{0.0032748}	9

실제 어구에 어획되는 어종별 체장과 체중은 자원관리와 자원량 추정에 매우 필요한 자료인데 본 시뮬레이션에서는 기존자료를 인용할 수 밖에 없었다 (이 등, 1994, 김 등, 1992, 1994; Santos et al., 2002). 본 예망어업 모델에서 어획되는 어류의 크기는 예망시 어구에 조우되는 총미수에 따른 체장의 크기를 몇가지 통계학적인 랜덤분포로 발생시킬 수 있다. 무작위수 발생방법은 Press 등 (1996)의 서브루틴을 사용하였다. 참조기의 경우를 예를 들어 어장에서의 체장의 분포범위를 25 ± 5 cm라 할 때 총 1,000미를 무작위분포, 정규분포 및 감마분포 등에 의하여 모의 발생된 체장의 분포도의 예는 <그림 28>과 같다.



<그림 28> 세가지 무작위 분포종류에 따른 참조기의 전장조성 결과.

여기에서 사용된 세가지 무작위 분포도는 자원 체장분포나 어획 선택체장 분포에 서도 가장 대표적인 것으로, 특정어장에서의 어류크기 분포나 어획선택성 등에 따라 결정될 수 있을 것이다.

어류의 감각 중에서 예망어구에 대한 가장 중요한 감각은 시각이며, 어류의 시각 예민도는 시각 콘트라스트 역치(C_T)와 최소분해각(A_m)으로 나타낼 수 있다. 어류의 시각예민도에 영향을 미치는 주요한 요인은 배경휘도(L_b)와 체장(B_L)이라고 볼 수 있어서 관계식 (김, 1998)은 다음과 같다.

$$C_T = C_0 \exp(-H_b L_b - H_L B_L) \quad (13)$$

$$A_m = A_0 \exp(-K_b L_b - K_L B_L) \quad (14)$$

이 때 C_0 와 A_0 는 초기값이고, H_b , H_L , K_b , K_L 등은 계수로써 고등어를 비롯한 10여

종에 대해서는 기존 조사에서부터 관계식에서 보고된 바 있으며, 그 중 체장에 따른 계수 H_L 과 K_L 은 1.5 정도로 거의 같게 나타났다. 그러나 위에서 선정한 주요 어종 중에서 명태는 대구와, 삼치는 고등어와, 멸치는 청어와 유사한 것으로 시각 예민도를 구하였다. 그 외의 어종에 대해서는 Schellart & Prins (1993)의 간접적인 방법을 사용하여 어류의 형태학적인 분류계통과 안구의 특징 등에 의하여 시각적인 지수(V_I)를 <표 8>과 같이 추정하였다. 어류의 최소분해각은 이 시각적인 지수에 비례하는 것으로 보아 다음 관계식 (김, 1998)에서부터 콘트라스트 역치의 초기값(C_0)과 최소분해각의 초기값(A_0)을 구하였다.

$$C_0 = 17.32 \exp(-0.544 V_I) \quad (15)$$

$$A_0 = 22.98 \exp(-0.389 V_I) \quad (16)$$

계수 H_b 와 K_b , K 는 조사된 자료에서부터 어종별 형태와 생태 등을 고려하여 추정하였다.

<표 8> 주어종의 시각 예민도의 식(3,4) 관련 계수 추정치
(*는 기존 조사어종에서부터 추정)

주대상생물	V_I	C_0	A_0	H_b	K_b
오징어	2.9	3.6	7.4	0.65	0.50
갈치	2.8	3.8	8.0	0.65	0.50
달강어	2.0	5.8	10.6	0.60	0.45
삼치*	3.0	3.0	6.0	0.65	0.50
조기류	1.9	6.2	11.0	0.60	0.45
쥐치	1.8	6.5	11.4	0.60	0.45
가자미류*	1.1	9.5	15.0	0.45	0.40
명태*	2.4	4.7	9.0	0.60	0.45
민어	2.2	5.2	9.8	0.60	0.45
민태	2.1	5.5	10.2	0.60	0.45
멸치*	2.3	5.0	9.4	0.60	0.45

어류의 유영능력 (Kim & Wardle, 1997)은 유영에너지(Q_0)와 최대유영속도(V_B)에 관한 다음식으로 나타낼 수 있으며, 어종별로 주로 체장(B_L)과 수온(T_w)에 의하여 유영능력이 달라지는 것으로 모델링 한 바 있다. 본 예망어업에서 선택한 주요어종 중에서는 물가지미와 멸치는 이미 조사되어 있고, 삼치는 고등어와, 명태는 대구와 유사한 것으로 볼 수 있으나, 나머지 어종에 대해서는 기존 조사된 어종들의 체형과 생태 등을 고려하여 유영에너지에 관계된 계수 E_0 , E_1 , n 와 유영속도에 관계된 계수 H_0 , H_1 , m 을 <표 9>와 같이 추정하였다.

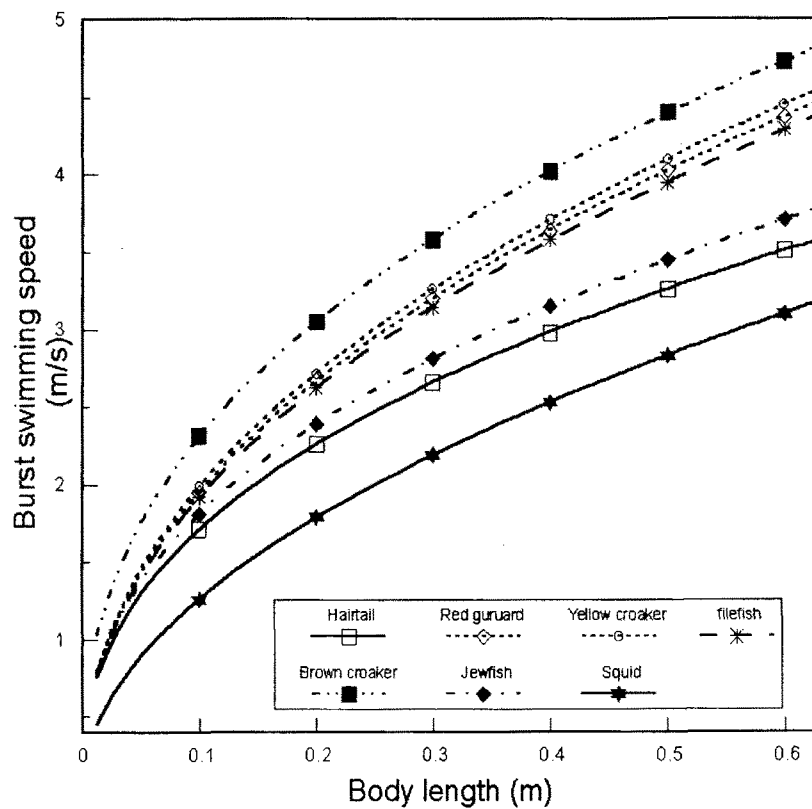
$$Q_0 = (E_0 + E_1 T_w) B_L^n \quad (17)$$

$$V_B = (H_0 + H_1 T_w) B_L^m \quad (18)$$

위의 방법으로 7개 어종의 수영능력을 추정한 예는 <그림 29>와 같다.

<표 9> 예망 어업 주요 어종의 수영능력 계수 추정치
(*: 기존 유사어종의 계수 인용)

주대상생물	E ₀	E ₁	n	H ₀	H ₁	m
오징어	80	50	0.90	1.0	0.20	0.50
갈치	110	60	0.80	1.3	0.20	0.45
달강어	100	50	0.85	1.6	0.26	0.45
삼치*	162	81	0.80	2.1	0.40	0.30
조기류	110	55	0.85	1.7	0.26	0.45
쥐치	90	50	0.85	1.5	0.26	0.40
민태	140	70	0.80	1.8	0.25	0.40
명태*	145	73	0.80	1.9	0.26	0.30
민어	145	73	0.80	1.9	0.26	0.40



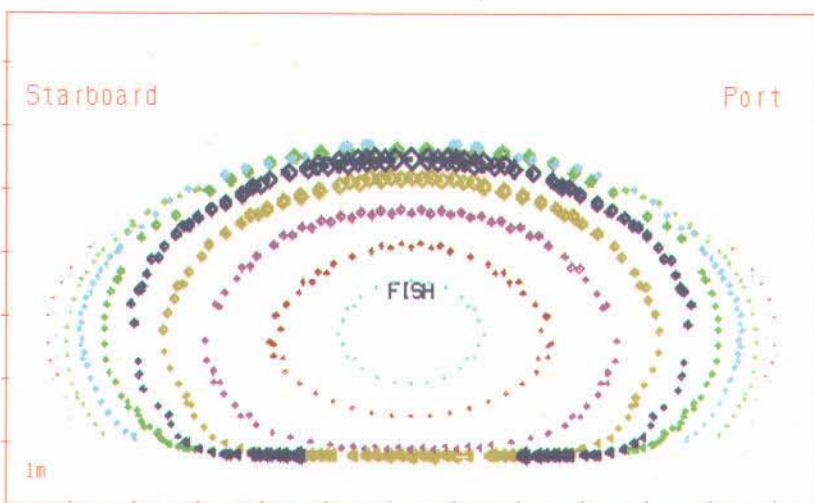
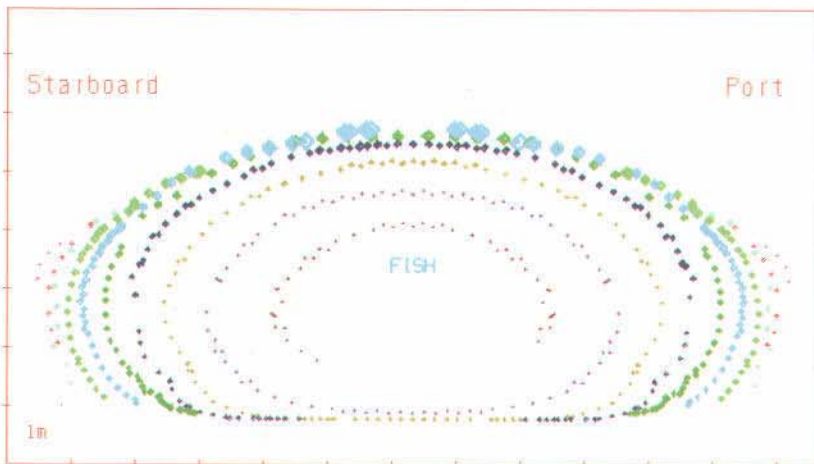
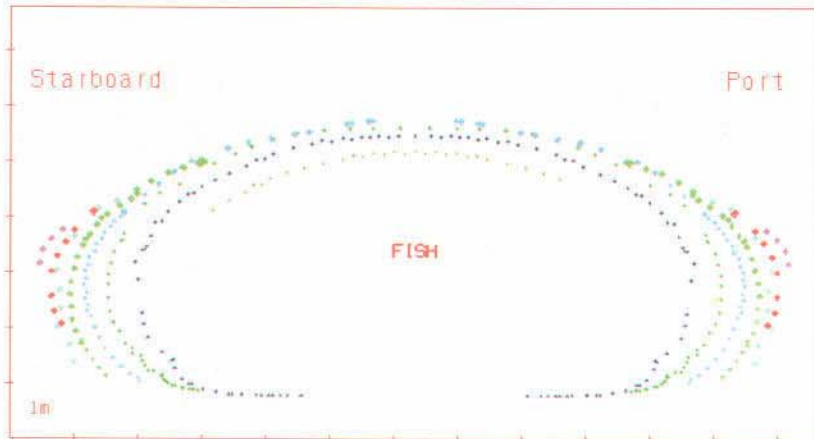
<그림 29> 7개 어종별 체장에 따른 최대유영속도 추산결과.

2. 어구별 자극모델

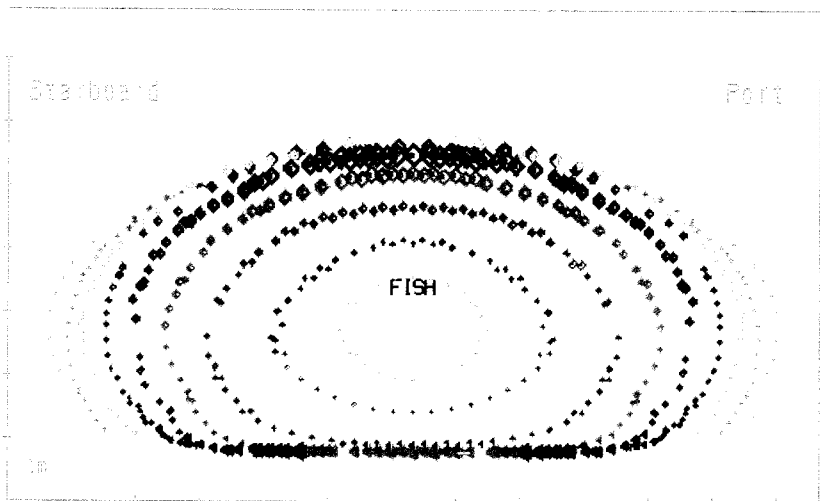
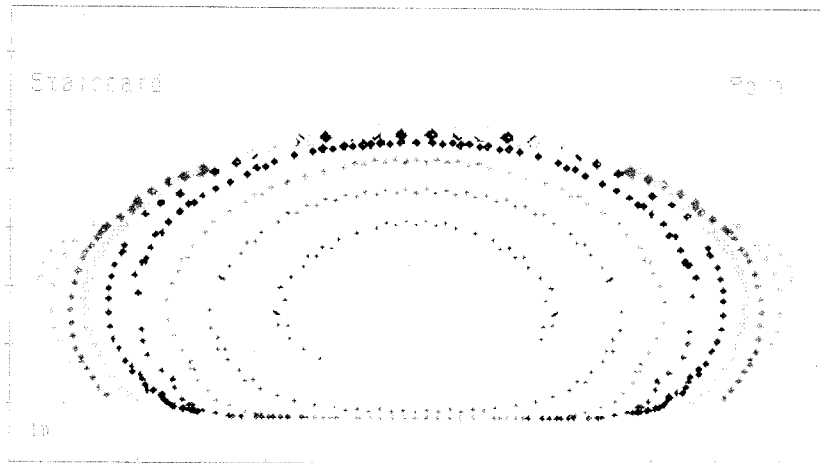
예망어구가 어류에 미치는 자극의 종류로는 주간에는 시각자극이 가장 크고, 그 다음으로는 소리자극, 야간이나 어구에 근접했을 때는 접촉자극 및 유수감각으로 볼 수 있다. 어구의 시각자극은 어구의 규격 및 색깔 등과 수중광학적 조건에 의한 어류의 상대위치와 시각 예민도에 의하여 달라질 수 있다. 여기서는 북해 저층트롤, 북양 명태중층트롤, 근해 쌍끌이 기선저인망 및 멸치 기선권현망 등의 대표적인 종류를 선택하고 수중형상을 시뮬레이션하고 어종에 따른 시각 자극의 정도를 모델링하였다. 각 어구별 어구의 규격과 수중형상을 요약하면 <표 10>과 같다. 그 중에서 대표적인 예로 저층트롤과 중층트롤에 대한 상대위치에 따른 어구의 시인 정도를 <그림 30>과 <그림 31>에 각각 나타내었다.

<표 10> 주요 예망 어구의 규격과 수중형상의 요약

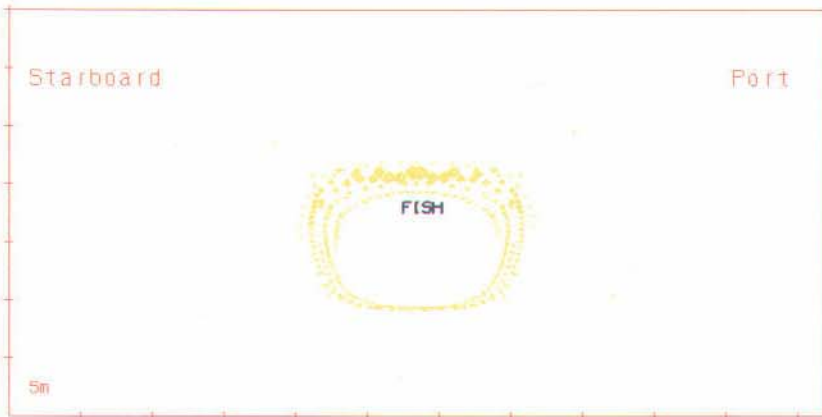
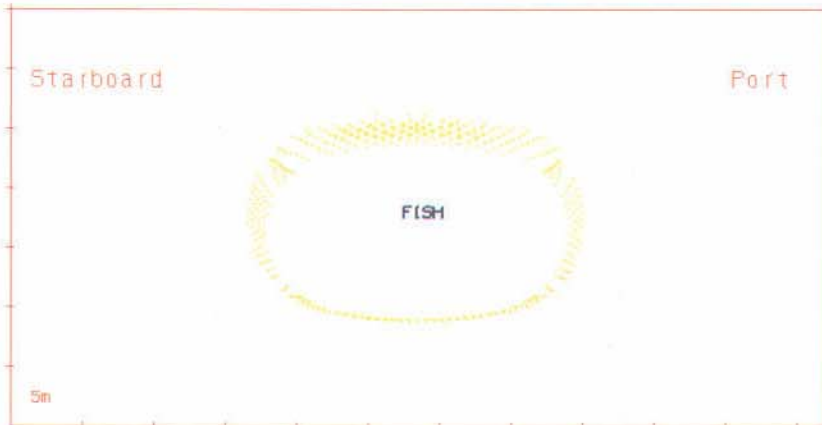
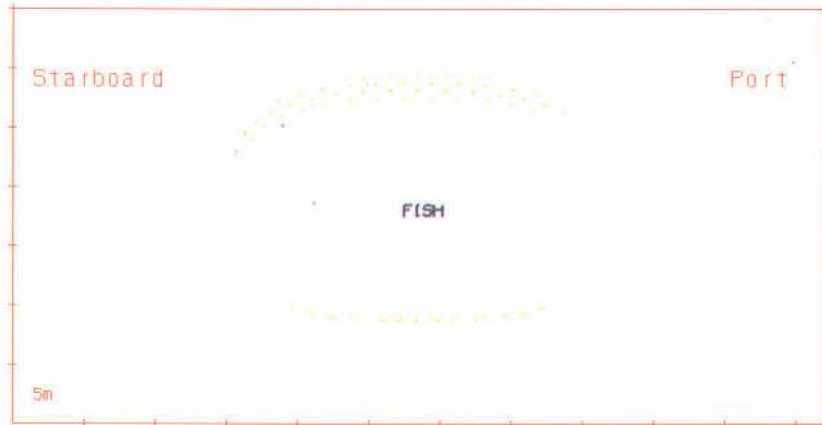
규격 및 형상	북해트롤	명태트롤	쌍끌이 기선저인망	기선권현망
기관출력(HP)	600	3,800	1,500	180
뚝줄길이(m)	28	226	114	1,144
발줄길이(m)	21	224	126	1,156
후릿줄(m)	55	100	38	80
망사 직경(mm)	3.4,2.8,2.1	9.0,7.7,3.9,3.3	3.7,3.3,2.7,2.2	4.9,3.6,0.5
망목크기(m)	0.14,0.11,0.09	8,4,2,1,0.6,0.4	0.15,.09,0.07	3.6, 1.5, 0.72
망지색깔	노랑, 녹색,	백색	흑색,녹색	적색, 백색
예망속도(k't)	3.0	2.0	2.6	1.0
전개간격(m)	30	210	90	200
망고(m)	5	81	13	33
망폭(m)	25	142	80	196
어구길이(m)	34	240	79	793
어구축소절점수	2531	1761	1825	2330



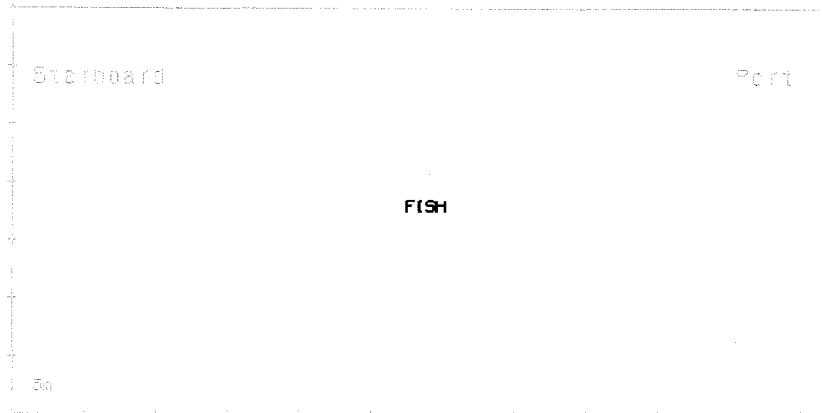
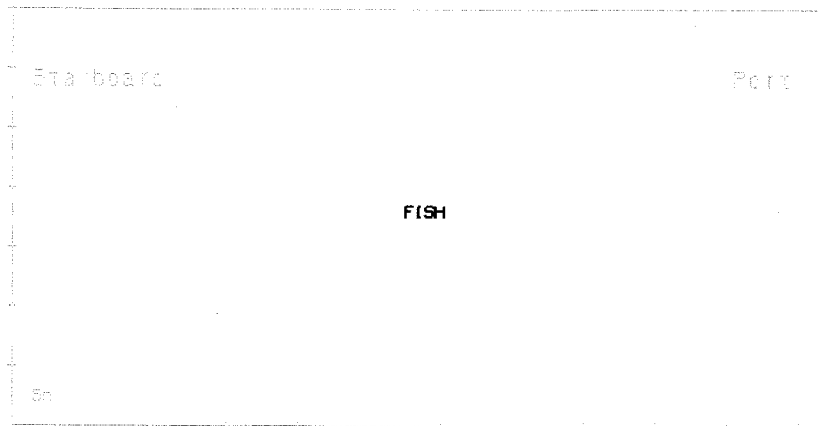
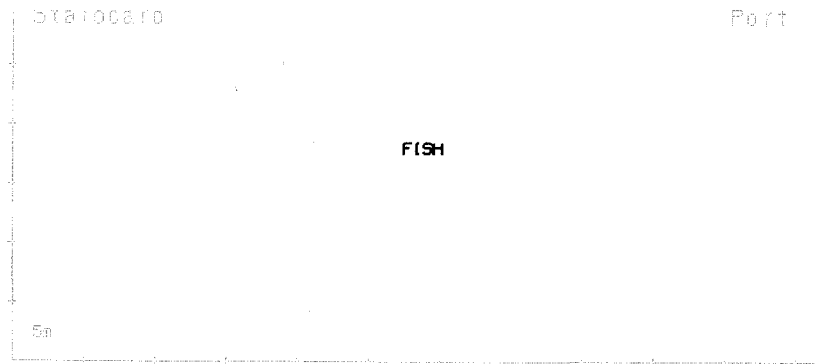
<그림 30> 소형 저층트롤(날개간격 15m, 망고 4.9m)에서 참조기의 위치에 따른 어구 시인정도. 예인방향 어류위치는 뜰줄 중앙(상)과 어포부 쪽으로 5m(중), 10m(하)



<그림 30> 소형 저층트롤(날개간격 15m, 망고 4.9m)에서 참조기의 위치에 따른 어구 시인정도. 예인방향 어류위치는 뜰줄 중앙(상)과 어포부 쪽으로 5m(중), 10m(하)



<그림 31> 명태 중층트롤(날개간격 60m, 망고 36.5m)에서 명태의 위치에 따른 어구 시인정도. 예인방향 어류위치는 뜰줄 중앙(상)과 어포부 쪽으로 30m(중), 70m(하)



<그림 31> 명태 중층트롤(날개간격 60m, 망고 36.5m)에서 명태의 위치에 따른 어구 시인정도. 예인방향 어류위치는 뜰줄 중앙(상)과 어포부 쪽으로 30m(중), 70m(하)

3. 어류의 혼돈행동 반응 모델 개요

혼돈이란 단어는 천지 창조에 관한 기록인 성경의 창세기에서 “태초에 하나님이 천지를 창조하시니라. 땅이 혼돈하고 공허하며 --”라고 기록되어 있다. 학문으로서의 혼돈의 이론(Chaos Theory)에 대해서 옥스포드 물리학사전에 의하면 “결정적인 법칙에 의해 정해지는 시스템에서 비예측적, 무작위적으로 일어나는 것처럼 보이는 제현상”으로 정의하고 있다. 따라서 복잡하고 혼란스러운 현상이 고도의 질서에 의하여 일어나는 것들을 총칭하여 말할 수 있을 것이다.

혼돈의 개념을 근대과학으로 표현, 발전하게된 것은 Poincarè의 초상화 작도를 시작으로 <표 11>에 나타난 것과 같은 방정식들이 발견되었으며, 그 중에서 대표적인 것들은 3차원의 Lorenz와 4차원의 Rössler의 방정식이 있다.

<표 11> 주요한 혼돈 방정식의 예

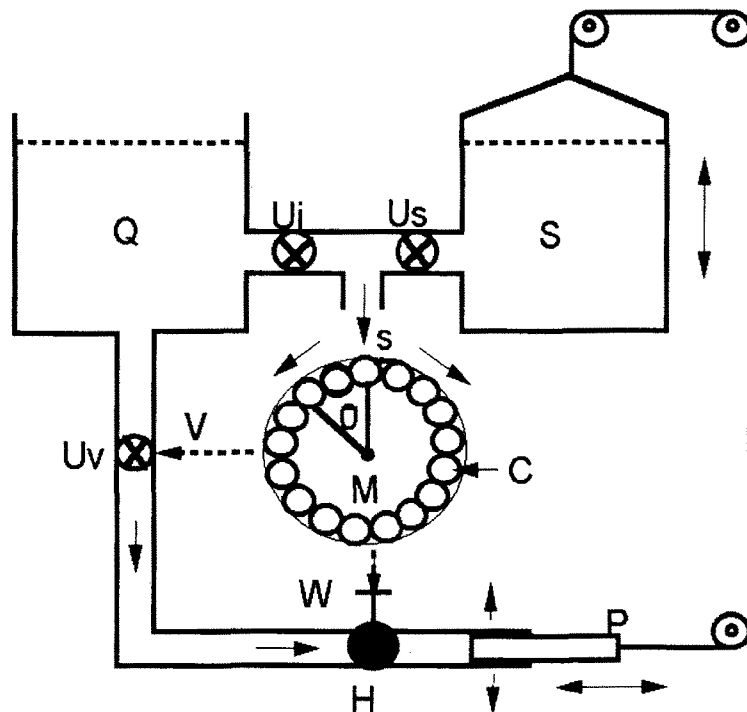
Type	Equation	Parameter(예)
Henon	$X_{n+1}=1-aX_n^2+Y_n$	a=1.4 b=0.3
Duffing(Ueda)	$dX/dt=Y$ $dY/dt=-aY-X^3+bcos(t)$	a=0.3 b=34
Lorenz	$dX/dt=a(Y-X)$ $dY/dt=X(b-Z)-Y$ $dZ/dt=XY-cZ$	a=16 b=45.92 c=4
Rössler	$dX/dt=-(Y+Z)$ $dY/dt=X+aY$ $dZ/dt=b+Z(X-c)$	a=0.15 b=0.2 c=10
Rössler(hyperchaos)	$dX/dt=-(Y+Z)$ $dY/dt=X+aY+W$ $dZ/dt=b+ZX$ $dW/dt=cW-dZ$	a=0.25 b=3 c=0.05 d=0.5

현장관찰과 수조실험의 결과 얻어진 어류의 복합반응 행동을 분석하고 그 결과를 수치모델화하는 과정에서 어류 행동 반응의 패턴이 매우 복잡 다양하여 혼돈이론을 적용하는 것이 타당하다고 보여졌다. 어구에 대한 어류의 다양한 반응 행동은 내,외부의 자극 수용과정, 의사결정과정 및 유연운동 발현작용 등의 3 단계 행동작용으로 단순화하여 자극에 의하여 작동되는 의사결정의 수차를 <그림 32>와 같이 도입하여

어류의 복합반응 행동모델을 수립하고 LORENZ (1979) 형의 혼돈의 미분방정식 (Kim, 1996)으로 다음과 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 dR/dt &= K(W-R) \\
 dW/dt &= MR-RV-W \\
 dV/dt &= RW-V
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

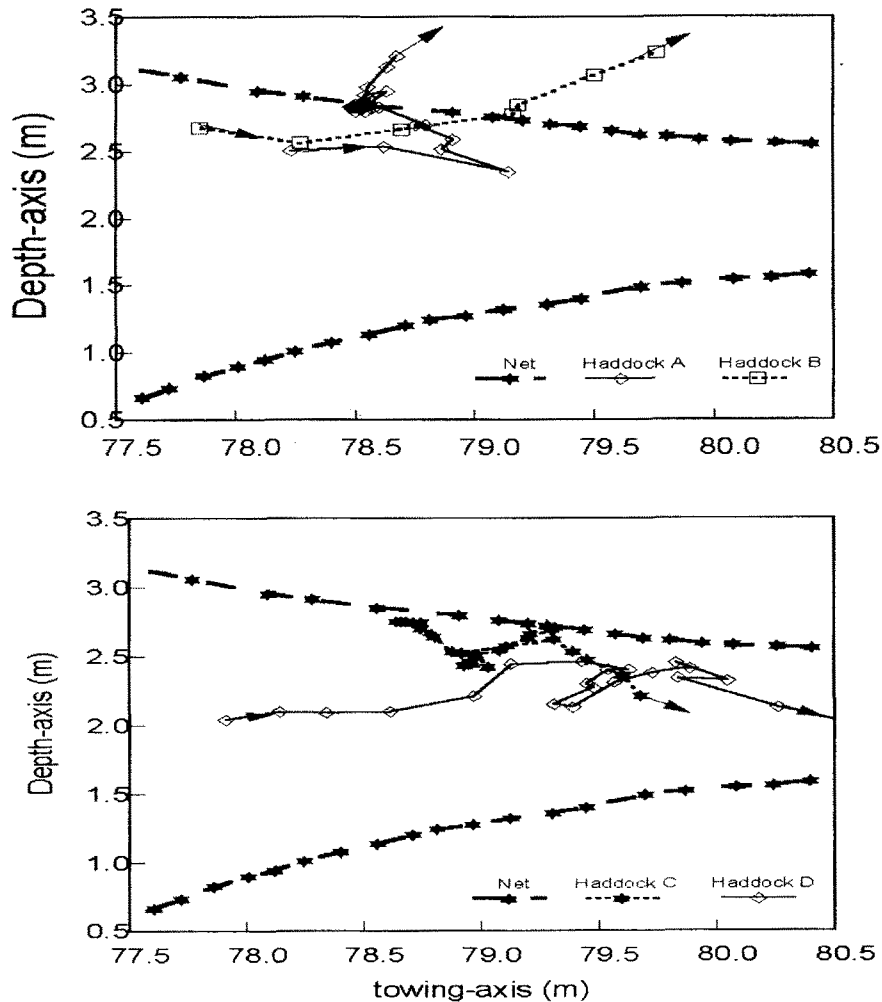
단 R은 반응비율, W는 방향전환 속도, V는 선속도로 어류의 반응행동에 적용하였고, k와 m은 어류의 내,외적인 자극과 유영에너지 등에 따라 변하는 계수로 하였다. 따라서 본 어류 혼돈행동 모델링은 어류의 시각 및 유수감각 등 어구에 반응하는 주된 감각기관의 예민도 등의 수치모델을 수립하고, 망지의 규격에 따른 시각 자극 효과 및 와류발생 정도와 어류의 도피 및 통과 등과 어류의 유영능력 등과의 상관관계를 어류의 복합반응 행동모델과 결부시킨 최종모델을 완성하였다. 그 결과 본 모델은 무차원화, 단순화한 입력 자극요인들에 따라 안정되고 규칙적인 상대 유영행동에 서부터 고도의 복합적이고 혼란스러운 반응행동들의 양상을 모두 도출할 수 있었다.



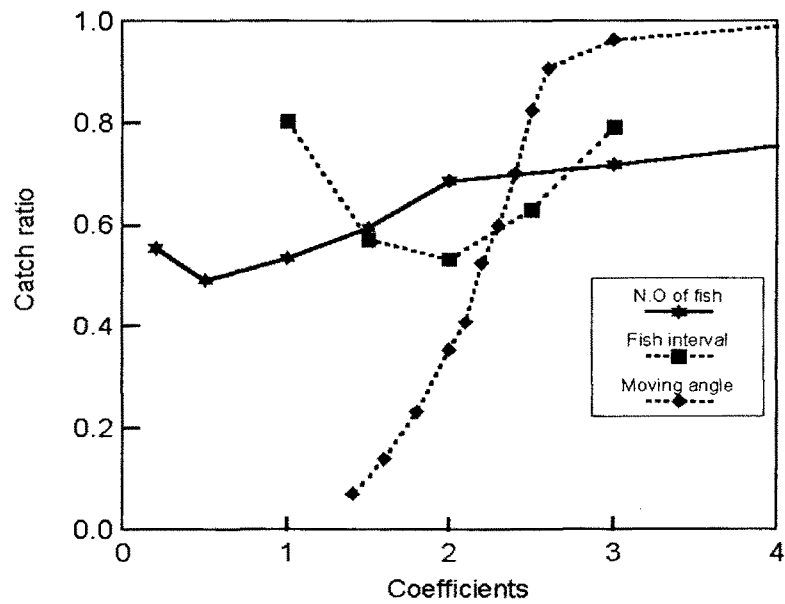
<그림 32> 의사결정의 수차를 이용한 어류의 복합반응 행동모델 모식도.
 Q: 유영에너지 수위 S:외부자극에너지수위 M:의사결정수차
 P:피스톤 V_s,V_i,V_v: 밸브 V_t, W_t:반응신호

4. 어포부에서의 어류행동 분석

기존에 관찰, 수집된 북해 저층트롤 어포부에서의 어류행동을 녹화한 비디오에서 부터 망목 통과나 구집 등의 반응행동은 시간에 따른 유영위치의 변화를 컴퓨터 영상 처리방법으로 분석한 결과는 <그림 33>과 같이 어류가 어포부 그물코를 빠져나가서 도피하는 경우들과 빠져나가지 못하고 구집되는 경우에 어류의 이동위치, 이동유영속도, 이동방향 각속도 등을 정량화된 수치자료를 구하였다. 이때 어포부에서의 어류 반응행동의 패턴 (김, 1997)은 다음 <그림 34>와 같은 행동요인들에 대해서 그 인과관계를 집중적으로 분석하고 어획선택성 모델의 구성 알고리즘으로 이용하였다. 또한 예망어업의 조업 후 결과적인 기존의 어획선택성 자료들은 어종, 그물코형태, 망목크기, 망사굵기, 망지색깔, 어포부 구조, 어류도피장치, 주야간 조업시간, 예망속도, 해황과 선체 운동 등의 변수에 따른 어획물의 체장 조성이나 어획 비율 등을 기존보고자료와 현장조업에서 수집된 자료들을 비교, 분석하여 전체 어획비율의 변화를 시뮬레이션에서 재현되도록 하였다.



<그림 33> 북해 저층트롤 어포부에서의 어류 유영위치의 변화.

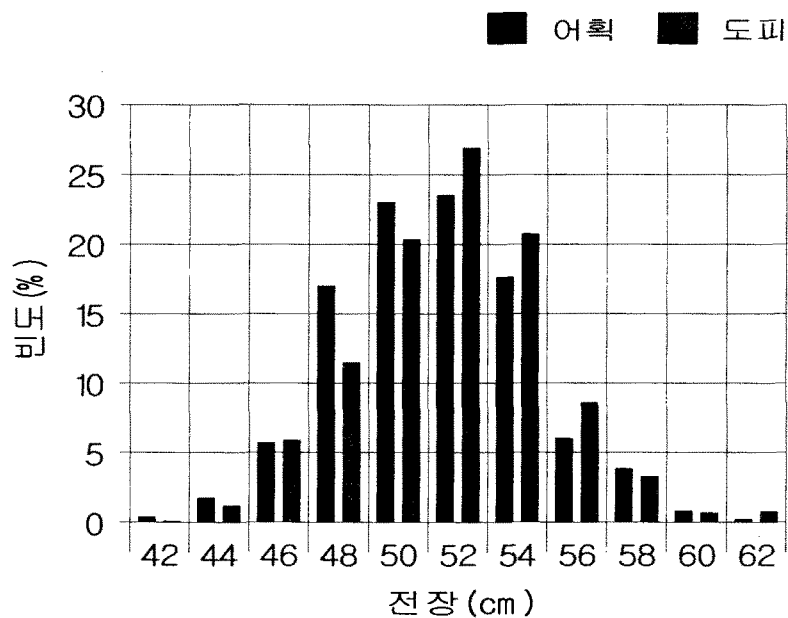


<그림 35> 어류행동모델에서 어류미수(별표, 단위:1000미), 개체간격 배율 P(사각형 전장배수), 이동방향계수 C(마름모꼴) 등에 따른 어획비율의 변화.

<표 12> 행동모델의 계수 변화에 따른 결과 비교

자극량 계수	반응각 도계수	개체반응 간격계수	자극 매듭수	유영간 격계수	어획비율 (%)	개체간 근접비율 (%)	어획순위
A+B	C	P ₁	Kn	P ₂	(%)	(%)	
5+5	3.0	0.7	2	0.7	90	4.5	5
6+4	2.0	0.9	2	0.7	91	3.9	4
6+4	1.7	1.0	3	1.0	92	3.7	3
6+4	1.8	1.0	3	1.0	86	4.1	7
6+4	1.9	1.0	3	1.0	92	5.2	3
6+4	1.7	0.9	3	0.9	90	3.7	5
6+4	1.6	0.9	3	0.9	85	2.9	8
7+3	1.5	0.9	2	0.7	60	2.7	16
7+3	1.6	0.9	2	0.7	62	2.6	15
7+3	1.7	1.0	3	1.0	68	2.5	13
7+3	1.9	1.0	3	1.0	95	2.6	1
7+3	1.75	1.0	3	1.0	67	2.7	14
7+3	1.8	1.0	3	1.0	87	4.6	6
7+3	1.8	0.9	3	0.9	92	5.2	3
7+3	1.7	0.9	3	0.9	76	2.1	11
7+3	1.6	0.9	3	0.9	67	1.7	14
7+3	1.7	0.8	3	0.8	94	3.9	2
8+2	1.0	1.0	2	0.7	21	2.9	17
8+2	2.0	1.0	3	0.9	80	3.1	10
8+2	1.9	1.0	3	1.0	74	2.7	12
8+2	1.9	1.0	4	1.0	74	2.8	12
8+2	1.8	1.0	3	1.0	68	1.7	13
8+2	1.7	1.0	3	1.0	83	3.4	9

어획비율에 가장 큰 영향을 주는 계수는 어류 반응각도 계수 C로 이값이 클수록 어획비율이 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 자극량 관련계수 B가 클수록 어획비율이 높았다. 그외 개체 간격배수 P나 매듭의 수 Kn은 그 영향을 미치는 정도가 낮은 것으로 보인다. 현장조업에서 어구에 조우는 개체수에 대한 어획비율의 조사는 매우 어렵기 때문에 본 모의시험의 결과도 검증하기가 어려운 실정이다. 본 결과에서 우선 B=3일 경우에 어획비율이 60-95%로 범위가 넓어서 반응각도 계수 C만에 의한 어획비율의 가변조정이 가능할 것이다. 본 시뮬레이션 결과를 기초로 어획선택성(이 등, 1992,1994)과 어구별 어종별 행동특성에 의한 어획 시뮬레이션 시험을 수행하였다. 북해 저층트롤에서는 저층성인 Haddock을 주대상으로 100초간 1000미를 양 전개판 사이에서 거의 해저(30cm 이내)에서 조우하게 하였다. 북해저층트롤은 소형이므로 어구에 구집되는 Haddock들의 밀집되어 발줄 앞에서부터 자루쪽으로 들어가는 것으로 나타났다. 북양 명태트롤에서는 중층성인 명태를 주대상으로 100초간 2000미를 양 전개판 사이에서 해저에서부터 뜬줄 정도의 수심까지 무작위로 조우하게 하였다. 북양 중층트롤은 대형이므로 날개사이에서도 명태들은 어구를 시인하지 못하고 자루쪽으로 들어가게 되는데 반응각도 계수 0.2일 때 어획된 964미와 도피한 1036미의 전장분포를 나타낸 예는 <그림 36>과 같다.

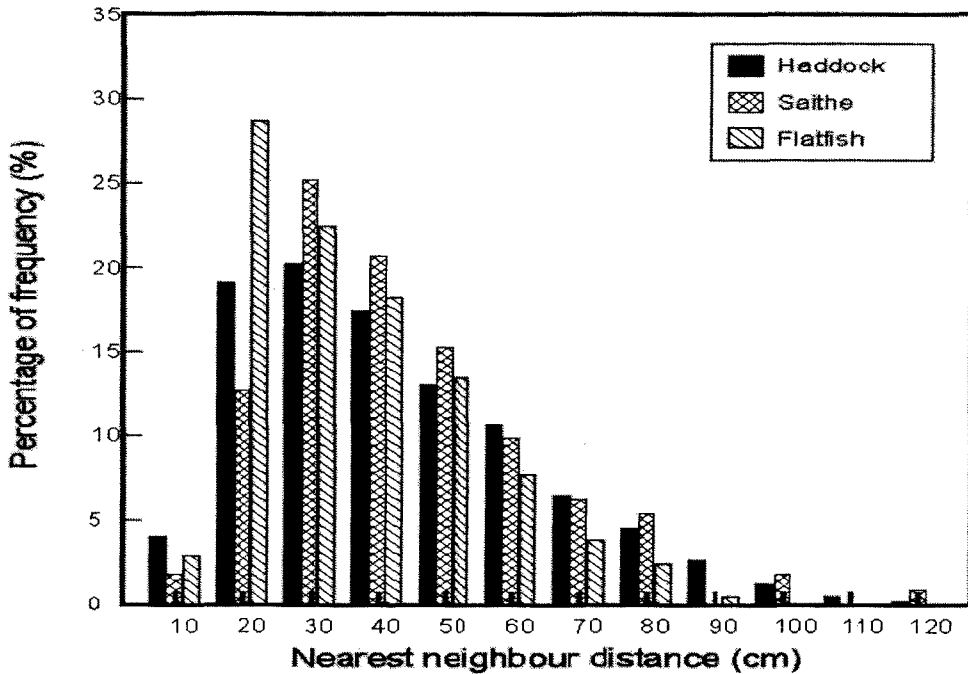


<그림 36> 북양 명태 중층 트롤의 시뮬레이션 결과 명태의 전장조성.

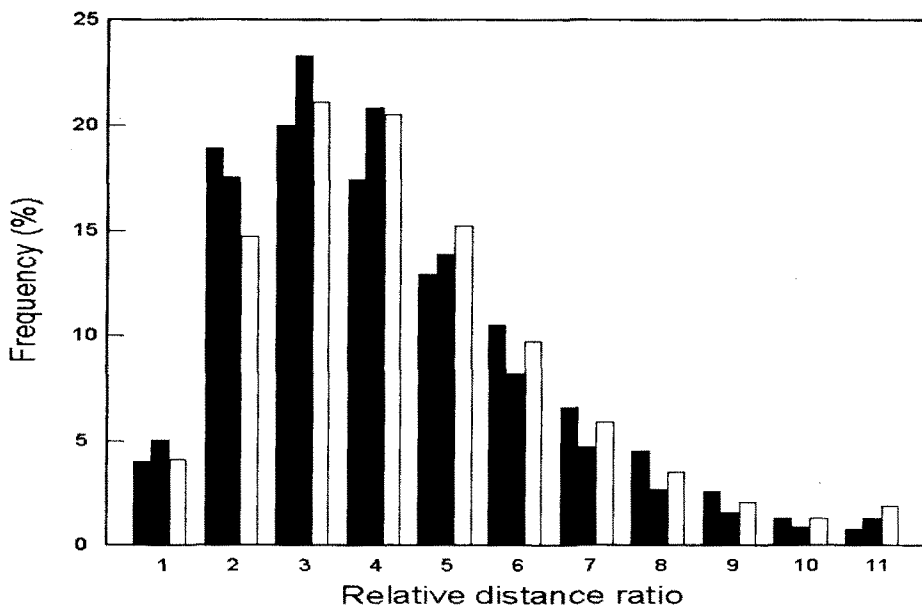
근해 쌍끌이 기선저인망에서는 저층성인 참조기를 주대상으로 100초간 1000미를 양 끌줄 사이에서 해저에서 조우하게 하였다. 기선권현망에서는 멸치를 주대상으로 100초간 1000미를 양 끌줄 사이에서 해저에서부터 뜬줄 정도의 수심까지 무작위로 조우하게 하였다. 기선권망어구는 매우 대형이므로 날개사이에서도 멸치들은 어구를 시

인하지 못하고 거의 자유 유영하다가 자루쪽으로 들어가게 되는데 도피하는 비율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한 멸치의 마리수는 소형어군인 Patch로 보고 어획결과를 집계해야할 것으로 생각된다.

또한 어구에 반응하는 어군들이 유영하는 동안 Haddock, Saithe 및 땅고기류 등에서 개체어 간의 간격은 현장 관찰에서 분석한 결과는 <그림 37>과 같고, 본 모델의 시뮬레이션에서 Haddock에 대한 개체어 간격의 분포조성은 <그림 38>과 같이 나타나서 전반적인 경향이 매우 비슷한 것으로 나타났다.



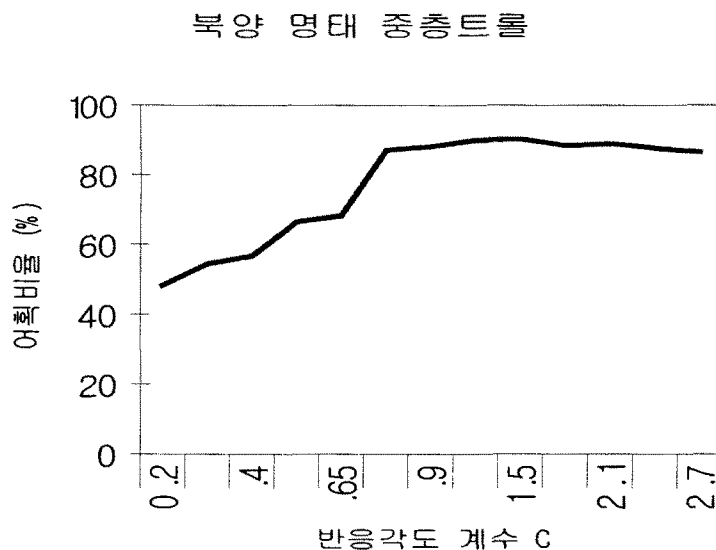
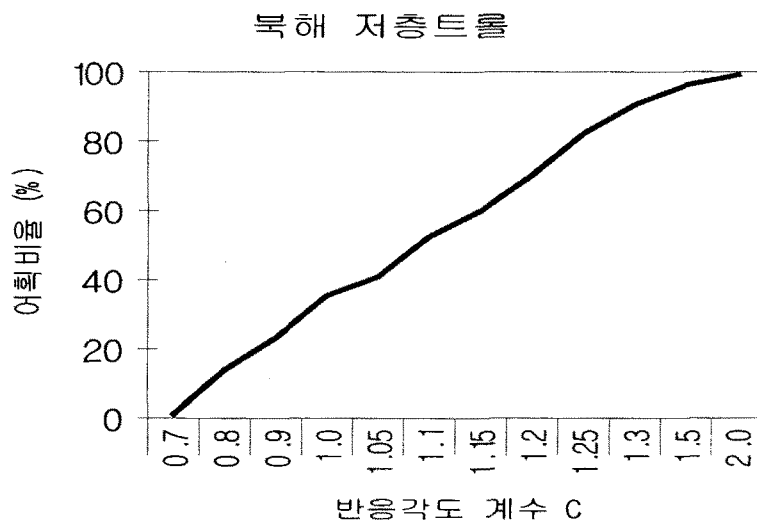
<그림 37> 현장관찰 결과 예망어구에 반응하는 개체어 간격 분포.



<그림 38> 시뮬레이션 결과 예망어구에 반응하는 개체어 간격 분포.

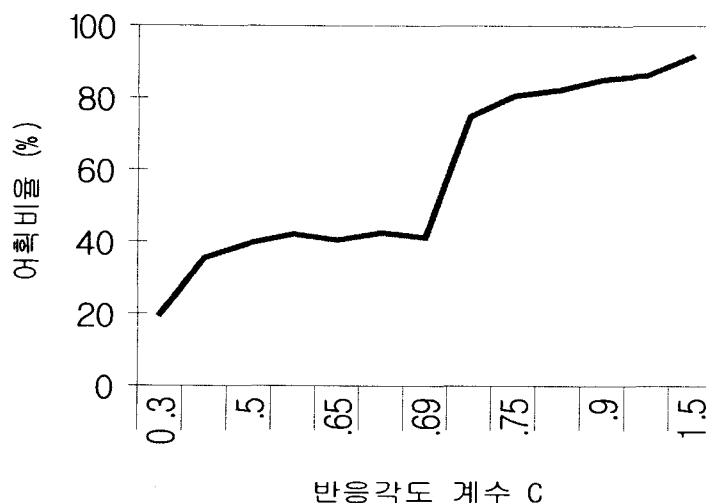
6. 어구별 어획 모델

예망어업의 주요한 4가지 어구별 어획모델은 위에서의 예비 시뮬레이션 결과를 바탕으로 반응각도 계수 C를 변화시킬 때 어획비율과 도피비율을 각각 조사하였다. 북해 트롤에서는 Haddock을 주대상으로 반응각도계수 0.7에서부터 2.0까지 12회의 시뮬레이션 결과 <그림 39>와 같이 어획비율이 거의 선형적으로 나타나서 7%에서 100%까지 변화시킬 수 있었다.

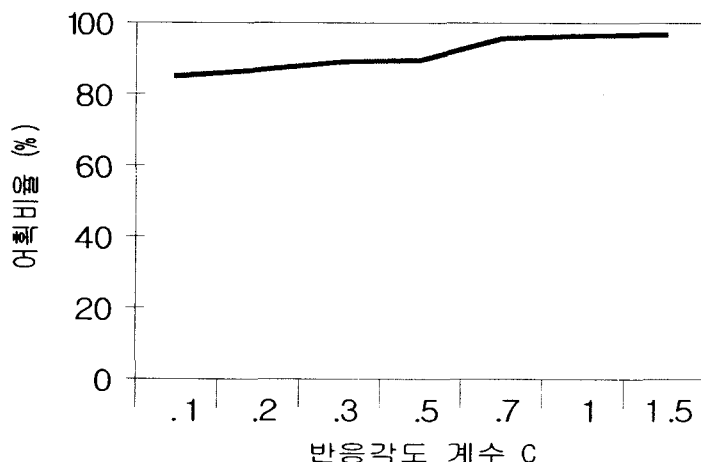


<그림 39-1> 시뮬레이션에 의한 주요 예망어업의 반응각도 계수 (C)의 변화에 따른 어획비율 변화.

쌍끌이 기선저인망



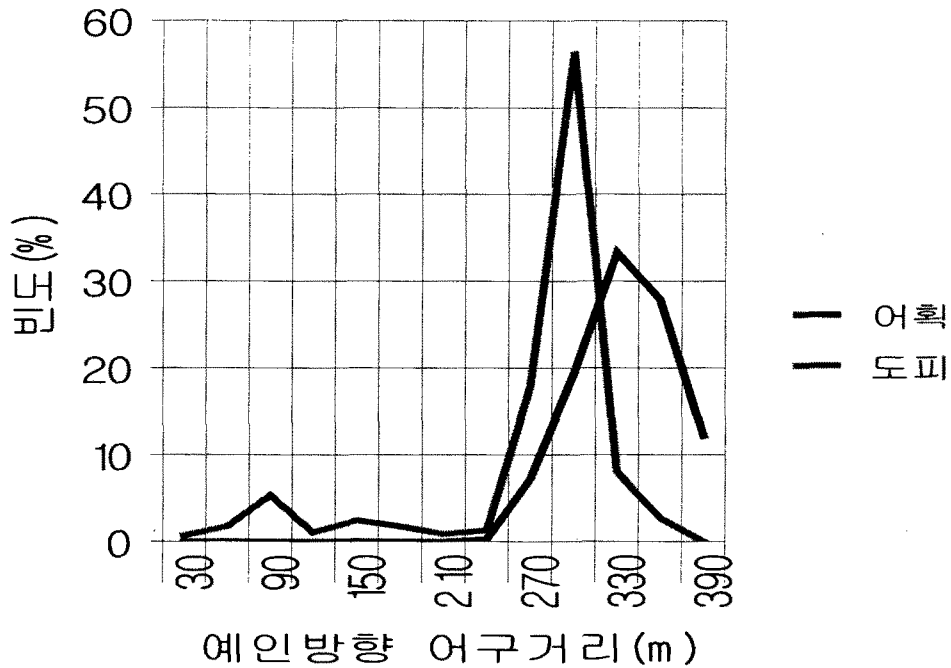
멀치 기선권현망



<그림 39-2> 시뮬레이션에 의한 주요 예망어업의 반응각도 계수 (C)의 변화에 따른 어획비율 변화.

북양 명태 중층트롤에서는 반응각도계수 0.2에서부터 2.4까지 13회의 시뮬레이션 결과 <그림 39>와 같이 어획비율이 비선형적으로 나타나서 48%에서 90%까지 변화시킬 수 있었다. 반응각도계수 0.2일 때 어획된 964미와 도피한 1036미의 예인방향 거리마다 어획비율과 도피비율을 나타내면 <그림 40>과 같이 도피비율은 어구거리 300m인 자루 후반부에서 가장 많았고, 어획비율은 이보다 30m정도 약간 뒷부분에서 가장 많이 나타났다. 근해 쌍끌이 기선저인망에서는 반응각도계수 0.3에서부터 1.5까지 12회의 시뮬레이션 결과 <그림 39>와 같이 어획비율이 비선형적으로 나타나서 20%에서

90%까지 변화시킬 수 있었다. 또한 기선권현망에서는 반응각도계수 0.1에서부터 1.5까지 7회의 시물레이션 결과 <그림 39>와 같이 어획비율이 비선형적으로 나타나서 80%에서 97%까지 변화되어 가장 어획비율이 높게 나타나는 반면 어획비율의 변화범위가 적었다. 이러한 이유는 기선권현망의 어구규모가 매우 크면서 유영력이나 감각능력이 떨어지는 멸치의 도피능력이 낮고 구집이 잘된다는 것을 시물레이션 결과에서도 간접적으로 나타낸다고 볼 수 있다.

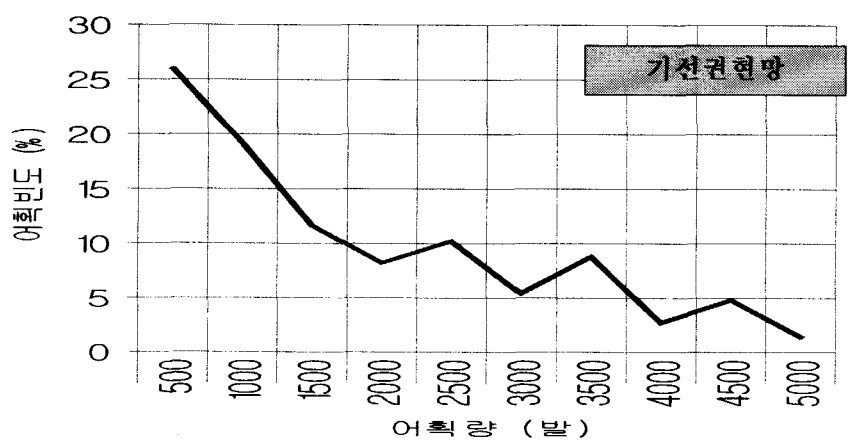
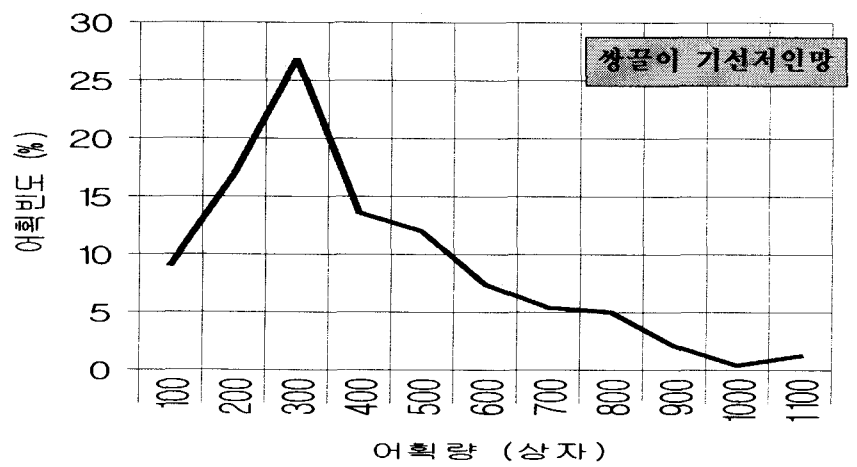
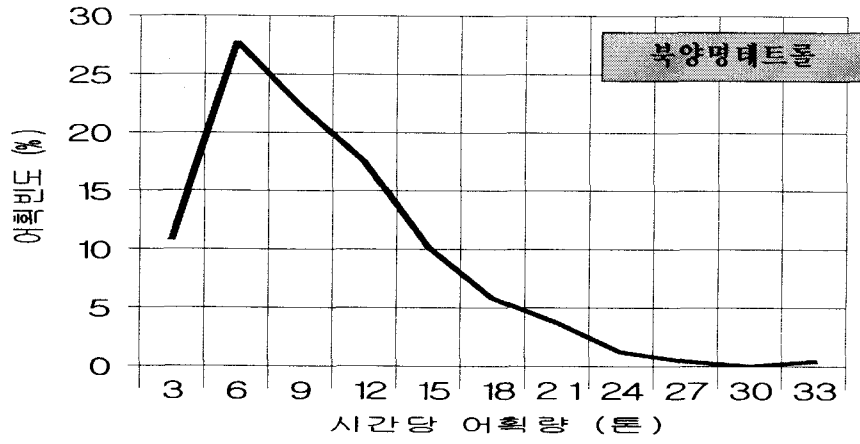
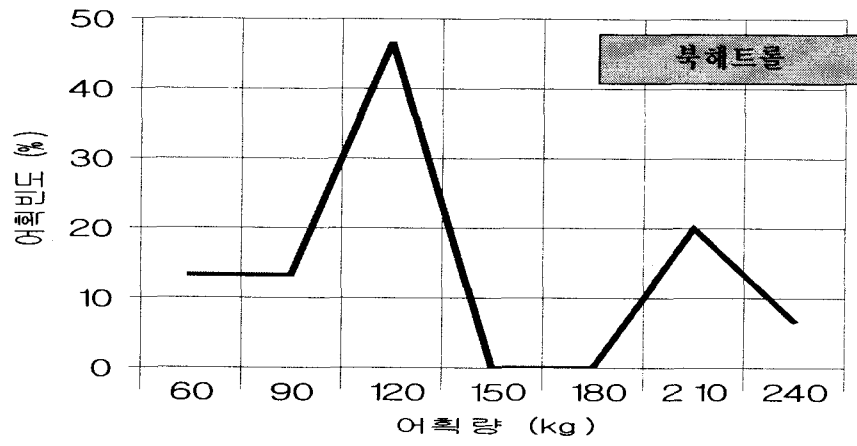


<그림 40> 북양 명태 중층 트롤에서 어구부위별 어획된 명태와 도피한 명태의 빈도본포.

이상의 결과에서 소형어구인 북해 저층트롤의 경우는 반응각도계수에 따라 어획비율이 거의 비례하였으나 그 외의 어구들에 대해서는 반응각도계수에 따라 어획비율이 서서히 증가하다가 갑자기 급변하는 경우가 나타나고 있다. 이러한 이유가 혼돈행동 방정식의 비선형적인 요소가 크게 작용하고 있는 것인지 아니면 어류의 크기나 감각 및 행동발현계수를 동일하게 무작위적으로 고정한 것에서 기인하는 것인지는 더욱 조사해야 할 문제이다.

제 5 절 조업결과 검증비교

4가지 주요어업에 대한 현장조업 자료를 분석한 결과 어획량에 대한 어획빈도 분포는 <그림 41>과 같다.



<그림 41> 주요 예망어업의 현장 조업결과 어획량 빈도분포.

북해트롤의 경우는 1994년에 총 15회의 조업결과 조업당 45-220kg의 범위로 평균, 편차는 $113 \pm 53\text{kg}$ 으로 나타났으며, 최대 어획빈도는 조업당 90-120kg일 경우가 47% 정도였다. 북양명태 트롤의 경우는 1995-7년에 총 521회의 조업결과 시간당 어획량 3-32톤의 범위로 평균, 편차는 $8.4 \pm 5.1\text{톤}$ 으로 나타났으며, 최대 어획빈도는 시간당 3-6톤일 경우 28%정도로 나타났다. 근해쌍끌이 기선저인망의 경우 1996-8년에 총 481회의 조업결과 조업당 어획량 100-1100상자의 범위로 평균, 편차는 $289 \pm 167\text{상자}$ 로 나타났으며, 최대 어획빈도는 조업당 200-300상자일 경우 27%정도로 나타났다.

멸치기선권현망의 경우는 1995-6년에 총 147회의 조업결과 조업당 어획량 30-8500발의 범위로 평균, 편차는 $1598 \pm 1449\text{발}$ 로 나타났으며 최대 어획빈도는 조업당 500발 미만일 경우가 26%정도였다. 결과적으로 요약하면 멸치 기선권현망어업을 제외한 나머지 예망어업에서의 어획빈도 분포는 거의 감마분포에 가까운 것으로 나타났고, 기선권현망에서는 지수함수적으로 감소하는 것으로 나타났다.

본 예망어업 시뮬레이션의 결과와 현장조업 결과 어획정도를 일치시키기 위해서 다음과 같이 접근하였다. 실제 조업결과나 시뮬레이션 결과의 어획량(중량 Wt)은 어획된 개체수(Nc)의 체중(w)의 합이고, 어획된 개체수는 어구에 조우한 전체 개체수(Nt)에 위에서 시뮬레이션 결과 조사된 반응각도계수 C 에 따른 어획 비율(Rc)을 곱한 것과 같다.

$$Nc = Nt \times Rc, Wt = \sum_{Nc=1} w(Nc) \quad (20)$$

따라서 어구에 조우하는 전체 개체수(Nt)과 반응각도계수 C 를 변화시키면 어획개체수를 제어할 수 있게되고 실제 조업결과에 가깝게 시뮬레이션결과를 얻을 수 있다. 이때 어구에 조우하는 전체 개체수(Nt)과 반응각도계수 C 는 현장 조업결과 어획빈도 분포가 되도록 해당어업별로 감마분포 발생루틴이나 지수함수발생루틴을 사용하였다. 현재 어구에 조우하는 전체 개체수(Nt)를 1000미 또는 2000미로 하여 예망시간 5-10분 정도일 때 <그림 16>과 같이 시뮬레이션 결과의 어획비율 등을 얻을 수 있어서 현장조업결과와 거의 비슷한 것으로 사료된다. 일례로 추정하면 북양 명태트롤에서 반응각도계수 0.7, 처음 조우하는 명태 2000미 일 때 5분간 예망하여 어획비율이 0.8로 나타났으므로 1시간 예망으로 환산하면 $2000\text{미} \times 0.8 \times 60/5 = 19200\text{미}$ 가 어획되어 명태의 평균 체중을 300g으로 보고 계산하면 약 5.76톤으로 되어 <그림 41>의 북양 명태트롤의 조업결과 최대 어획빈도인 6톤에 가깝게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

제 6 절 어선운항모델

어선 운항 모델은 조업을 하기 전 단계로서 어군을 찾아서 항해를 하면서 어군탐지를 하는 과정을 모델링 하였다. 예망어선은 저층트롤, 중층트롤, 쌍끌이 기선저인망, 기선권현

망을 대상으로 어선크기(톤수), 주기 출력(마력), 주조업구역, 주요어종 등을 선택한다. 조업을 하기 전단계로서 어군탐지를 하기 위한 연, 월, 일, 시, 분을 선택하고, 가상 운항수역의 시작위치(위도 도, 분, 경도 도 분), 선속(노트), 침로(360도)를 입력한다. 운항 중이라도 선속과 침로는 변경이 가능하다. 여기서는 우선 우리나라 주변의 운항가능 수역을 동지나해 위도 북위 30도, 경도 동경 120도에서 부터 북쪽으로, 서해 위도 42도, 경도 120도 동쪽으로, 남해 위도 30도, 경도 133도 북쪽으로, 동해의 위도 42도, 경도 133도를 잇는 한반도 주변수역으로 하였다. 본 대상 어장의 해황 (수산진흥원, 1998-2002)과 기상 (기상청, 1998-2002) 등에 관한 기존의 자료를 데이터 베이스화하여 시간과 위치에 따른 수심, 수온, 염분, 유향, 유속, 투명도, 수중조도 (Kim & Wardle, 1998), 운량, 파고, 풍속 등을 선형적으로 수심이나 위치에 따라 보간하여 구하고 디스플레이 하였다. 이러한 정보들은 어탐 중 원하는 시간과 위치에서 어구를 투망하고 조업에 들어갈 때 예망의 어획과정 모델에 필요한 요인으로 전달되어 이용되어진다. 만약 조업구역이 우리나라 주변 수역이 아닐 경우는 위의 해황과 기상 등에 관한 요인들을 직접 입력해야 한다. 어탐을 위한 운항이 시작되면 해황과 기상 등 운항에 관한 정보와 어탐에 관한 정보는 1초마다 시뮬레이션하여 두개의 화면으로 표시한다. 운항에 관한 정보는 새바다호 (경상대 실습선, 1000톤급)의 운항정보 모니터 (TOIMEC INC, BRIDGE MONITOR BM-2000)를 채용하여, 엔진 RPM과 피치, 위도, 경도, 선속, 침로 및 유향, 유속, 풍향, 풍속 등을 표시하도록 하였다.

제 7 절 어류분포 발생모델

어류가 일생 또는 1년을 주기로 하여 군을 형성하여 거의 정해진 경로로 이동하는 것을 회유 (이, 1981)라 하며, 회유를 행하는 어류를 회유어라 한다. 회유의 규모는 일반적으로 연안대에 서식하는 멸치류, 전갱이, 고등어, 방어, 곱상어나 외양성의 가다랭이, 다랭이류, 쫄치, 악상어 등 운동력이 강한 어류는 대규모이나, 많은 연안성 어류나 심해성의 운동력이 약한 어류는 현저하지 않다. 어류는 회유를 시작하면 군을 형성하므로 어장이 형성되나, 동일종에 속하더라도 계군이 다르면 회유의 방향이나 규모를 달리하는 경우가 있다. 우리나라 남해안에 내유하는 대부분의 난류성 어종(국립수산진흥원, 1998)들은 제주도 및 주변 동지나해 근해에서 주로 월동하여 겨울을 지내고 봄부터 북상하는 경우가 많은 것 같고, 북상한계와 시기는 어종별로 해황에 따라 다양하게 나타나는 것으로 보고하고 있다.

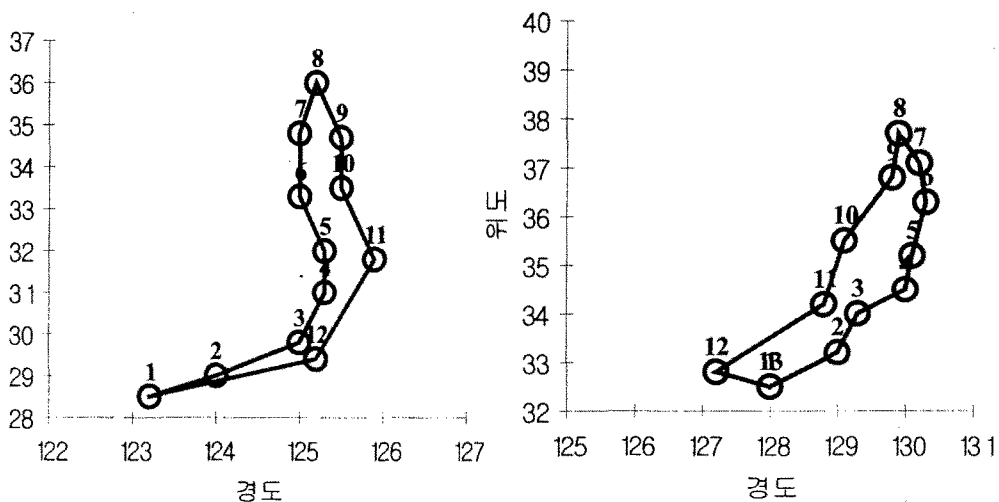
그러나 우리나라 난류성 어족들의 회유경로와 연중 월별 물리적인 해황과의 관계에 대해서는 명확하게 조사된 바가 없는 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 난류성 어종 중에서 대표적인 고등어, 갈치, 참돔, 부세, 방어, 눈볼대 등 20여종의 월별 회유경로에 따른 수온, 염분 및 해류와의 관계를 분석하고 조사하여 보았다. 이러한 자료는 예망어업의 시뮬레이션을 위한 데이터베이스화하여 보다 구체적이고 실제에 가까운

우리나라 주변어장에서의 예망어업의 어획과정 시뮬레이션이 될 수 있도록 하였다.

어종별 월별 회유 경로는 방어의 경우는 김 등(2002)의 추정경로를 월별로 세분하여 대표적인 위도와 경도를 0.1도 단위로 구하였고, 그 외 어종에 대해서는 국립수산진흥원(1998)의 회유경로를 사용하여 구하였다. 어류의 월별 회유경로에 따른 수온, 염분 및 해류의 변화는 수로국(1982)의 자료에서 위도는 북위30도에서 40도 까지, 경도는 동경 120도에서 130도까지 1도 단위로 수온(℃)은 표면, 수심 50m 및 100m층, 염분(‰) 및 해류 (knot)의 소수점 첫째자리 까지 읽어서 월별로 대표적인 회유지점의 위도, 경도에 대하여 보간하는 방법으로 추산하였다.

1. 고등어의 회유 경로

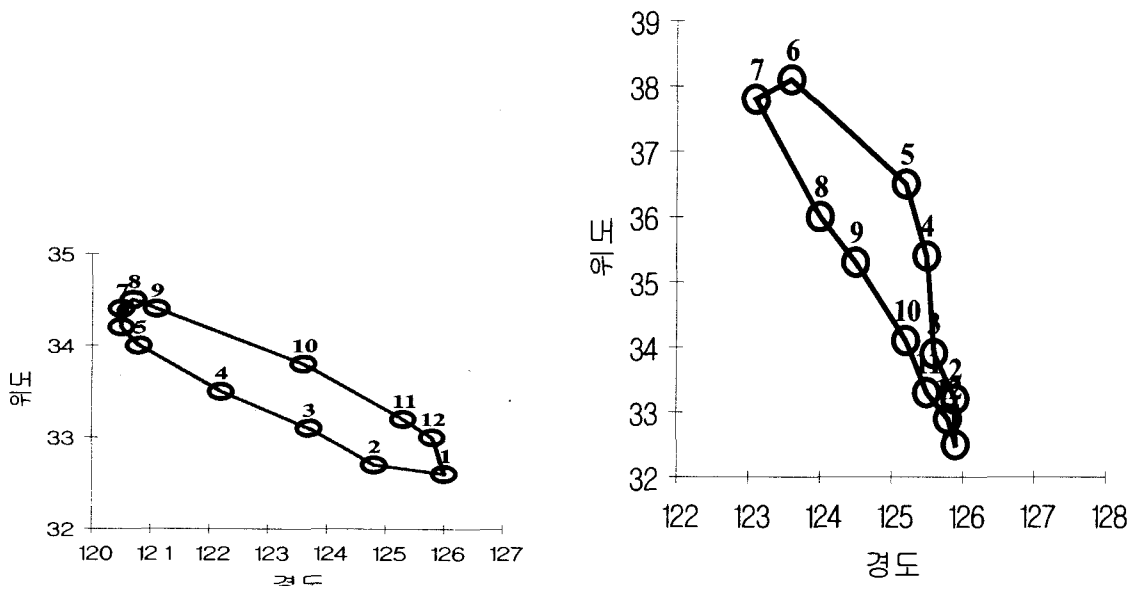
한국, 일본 근해에 서식하는 고등어는 크게 쓰시마 난류 계군과 태평양 계군으로 나뉘고 쓰시마 난류 계군은 다시 남방계군과 북방 계군으로 나뉜다. 남방 계군은 동지나해서 월동하고 여름철 쓰시마 난류의 세력이 강해짐에 따라 북상하며 한반도의 서부를 거쳐 발해만으로 향하는 군과 동해로 진입하는 군으로 나뉜다. 후자는 다시 한국 동부 해안을 따라 북상하는 군과 일본 북부 해안을 따라 북상을 하여 북방계군과 혼합되는 군으로 나뉜다. 이들 군은 가을에는 모두 남하하지만 남방계군의 일부는 그대로 북방계군에 휩쓸리는 군도 있고 또 북방계군중 일부는 남하하여 남방계군과 휩쓸리는 계군도 있다. 태평양 계군은 일본의 태평양 연안쪽에 분포하나 주군은 혼슈의 중부 연안을 산란장으로 하며 3~4세어가 주군인 성어는 5월에서 9월에 난류 세력이 강해져 표면 수온이 15도에서 17도로 높아지면 표층~중층에서 북상한다. 그러다가 10월에서 12월 표면 수온이 낮아지면 남하하기 시작한다. 월별에 따른 고등어의 남해->동해 회유군과 남해->서해 회유형의 대표적인 경로는 <그림 42>와 같이 나타낼 수 있으며 이 경로주변에 어군이 밀집될 확률이 높은 것으로 모델링 하였다.



<그림 42> 남해-동해 고등어의 월별 회유 경로 (왼쪽은 서해, 오른쪽은 동해).

2. 참돔의 회유 경로

참돔의 회유에 대해서 우리나라 주변에서의 회유경로에 대해서 명확하게 밝혀진 것은 없으나 <그림 43>과 같이 제주도 남방에서 1-2월에 월동한 어군은 크게 세 갈래로 회유하는 것으로 보고 있다. 첫 번째 계군은 3-4월부터 제주도 남방에서 북상하여 서해안의 흑산도를 거쳐 5-6월경 태안반도 앞을 지나 7-8월경에는 해주 근해까지 올라가서는 약간 서진하다가 9월경부터 남하하기 시작하여 10-11월경에는 북상시와 역으로 제주도 서안쪽으로 12월경까지 도착하는 것이다. 두 번째 계군은 1-2월경 제주도에서 월동한 다음 3-4월경부터 북동진하여 거문도, 백도 근방으로 진출하고, 5-6월경에는 남해도를 거쳐 옥지도까지 이르고 이때부터 7월경까지 통영근해에서 산란하는 것으로 어민들이 전한다. 이후 8-9월경까지 약간 동남진 하면서 깊은 바다의 암초지대에 서식하면서 11월에는 부산 서남쪽의 홍도에서도 어획되다가 12월이 되면 다시 남서진하여 월동장인 제주도 근해로 이동하는 것으로 보인다. 세 번째 계군은 제주도 근방에서 1-2월에 월동한 참돔이 거의 서진하여 4-5월경에는 양쯔강하류 해주만까지 진출하고 6월경에 산란한 다음 7-8월까지 근해에 머물다가 9월부터 동진을 시작하여 10-11월에 걸쳐 다시 제주도 남방으로 회유하는 것으로 보인다.

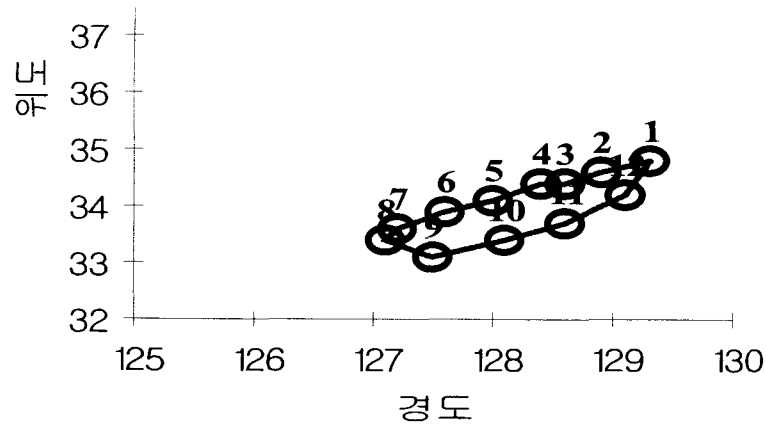


<그림 43> 참돔의 월별 회유경로 (왼쪽은 중국연안, 오른쪽은 서해).

3. 눈볼대의 회유경로

눈볼대의 회유경로를 추정된 결과에 의하면 <그림 44>와 같이 11-2월의 겨울철과 3-4월에는 남해 동부해역에 밀집되어 분포하다가 5-6월에는 제주도 동북쪽으로 서쪽으로 이동하는 경향을 보이고 있다. 여름철인 7-8월에는 남해동부해역에서부터 제주해

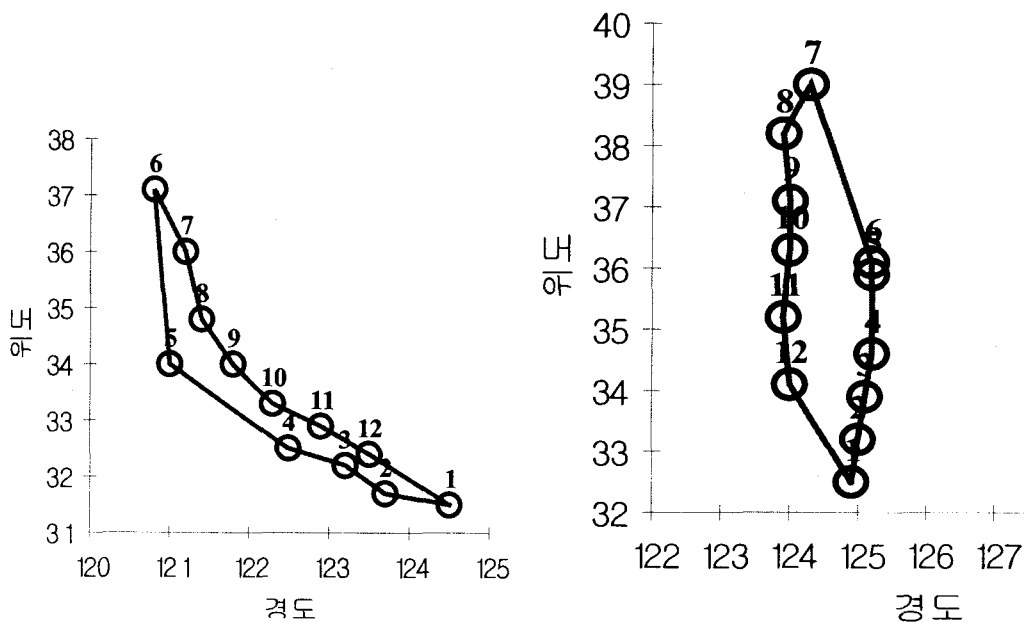
협과 제주도 서쪽 서해남부까지 광범위하게 분포하며 9-10월의 가을철에는 다시 남해 동부의 밀도가 높아져 동쪽으로 이동하여 겨울철을 보내는 경향을 보이고 있으나 전체적인 어군의 분포가 연중 광범위하게 흩어져 있어 회유의 뚜렷한 경향을 보이지는 않는 것 같다.



<그림 44> 눈볼대의 월별 회유경로.

4. 부세의 회유경로

부세의 월별 회유경로는 <그림 45>와 같이 봄이 되면 동지나해의 난류 세력을 따라 북상하기 시작하여 4월 중순에 대흑산도. 위도 근해에 이르러, 일부가 산란을 시작하고, 5월 중순에 주 산란장인 연평도 근해에 이르러 산란한다. 산란을 마친 어미는 6월 이후에도 북상을 계속하거나 외해로 이동하고, 9~10월에 수온이 낮아지면 산발적으로 남하하기 시작하여 10~12월에 월동장에 이른다.

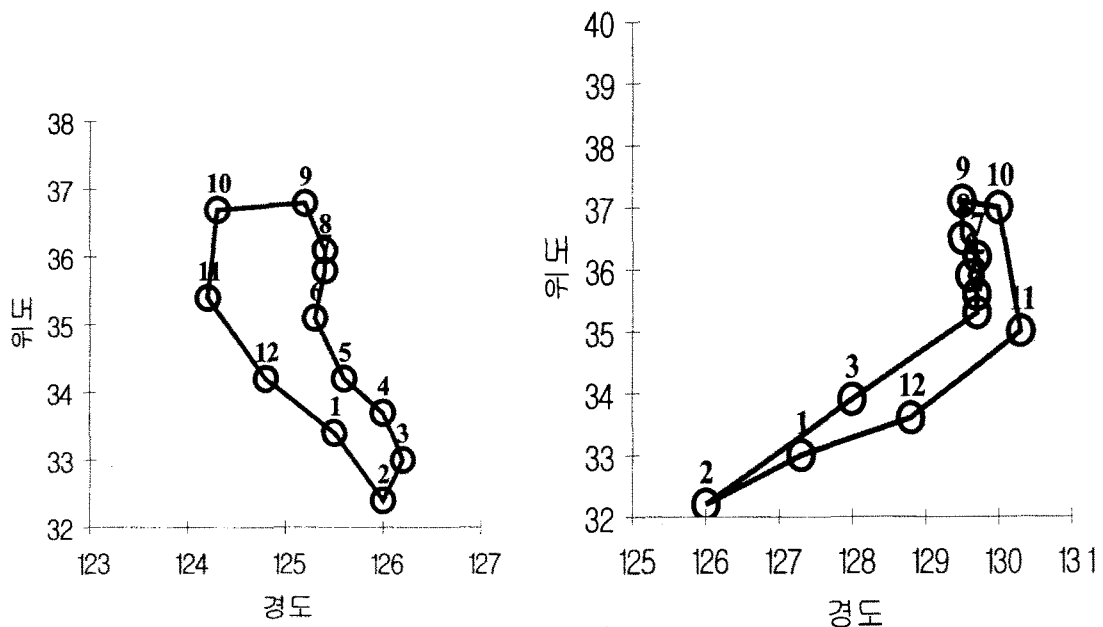


<그림 45> 부세의 월별 회유경로 (왼쪽은 동지나해, 오른쪽은 서해).

5. 방어외 회유 경로

방어의 추정 회유경로는 <그림 46>과 같이 11월부터 익년 3월까지 주로 제주도주변에서 머무르며 월동하여 제주도주변에 어장도 집중되어 있고, 분포범위는 대한해협과 대마도부근 및 큐슈서부 해역까지이다. 4월에서 9월까지는 월동장으로부터 황해와 남해 및 동해쪽으로 북상하여 10월에는 동해안으로는 묵호, 삼척 지선까지, 서해안으로는 변산반도 앞까지의 북상한계에 다다른 후 남하하기 시작한다. 이후 11월과 12월에 걸쳐 계속 남하하여 제주도 주변해역까지 대부분이 남하하여 이때 이 해역에서 최대의 어획을 나타낸다. 이 남하군은 익년 2월에 제주도 남부해역의 남하한계에 이른 후 3월까지 제주도 주변해역에서 월동하는 것으로 보고한 바 있다. 북상회유는 거의 색이회유이나 남하회유는 성어의 경우는 산란회유이고 자어는 계절회유에 따른 색이회유이다. 우리나라에 회유하는 방어의 주산란장으로는 일본의 고토오열도 근방으로 알려져 있고, 산란기는 4-5월인 것으로 보고있으나, 이밖에 동지나해 남부에서도 산란하는 것으로 추측되고 있다.

방어의 어획적 수온은 어장·어기에 따라 다르며, 어기가 늦거나 또 어장이 남쪽으로 갈수록 높다. 즉, 동해에서 겨울부터 이른봄까지 어획되는 겨울 방어는 거의 14~16°C의 범위에서만 어획되며, 13°C이하가 되면 어획이 격감하고, 16°C보다 높아도 어획이 나쁘다. 그러나, 어장 중심이 남쪽으로 옮겨져서 3월을 지나 봄어기가 되면 16~18°C에서 어획이 많고, 때로는 20°C이상인 때도 어획이 좋은 때가 있다.



<그림 46> 방어의 월별 회유경로 ((왼쪽은 서해, 오른쪽은 동해).)

6. 갈치의 회유 경로

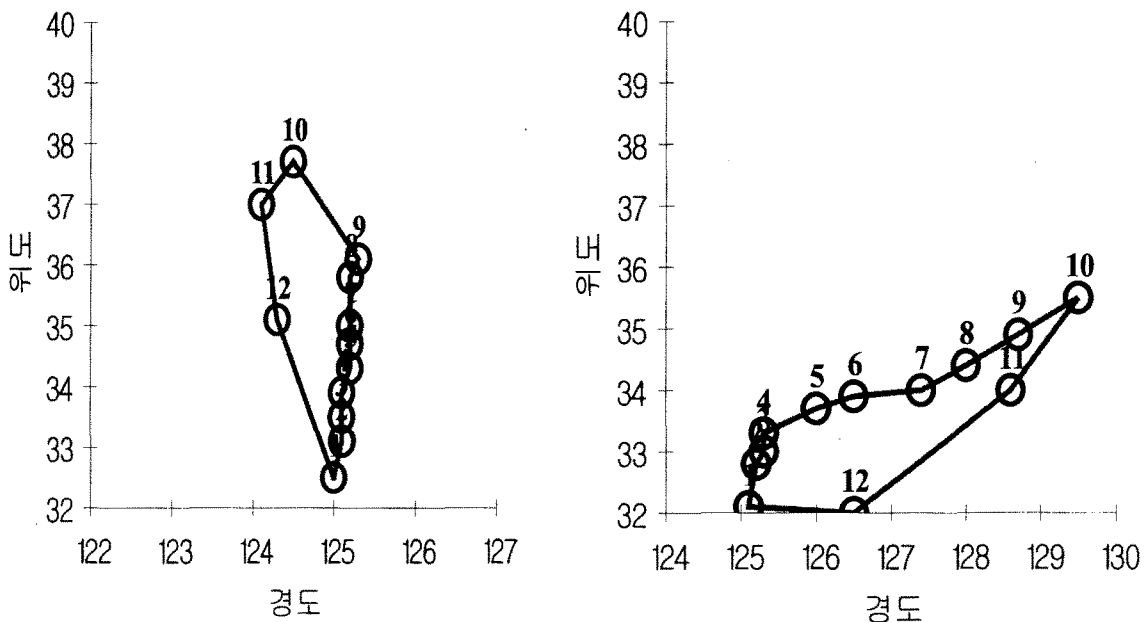
<그림 47>과 같이 갈치의 회유경로는 기본적으로는 서해 일원에 있어서의 이 회유의 기본 원칙에 따르고 있음은 물론이다. 다만 종에 따라, 혹은 같은 어족이라도 세부적으로는 다른 회유 경로를 가지는 경우가 있고, 또 그에 따라 여러 가지 특이한 형질을 가지는 몇 개의 계군으로 가를 수 있는데, 황해 남부나 동지나해에서 월동하는 갈치는 회유경로에 따라 대략 다음 3개의 계군으로 나눈다.

- ㄱ. 중국 산둥 반도 남부 연안에 회유, 산란하는 계군
- ㄴ. 우리 나라 서·남해안에 회유·산란하는 계군
- ㄷ. 중국 양자강 유역에 회유·산란하는 계군

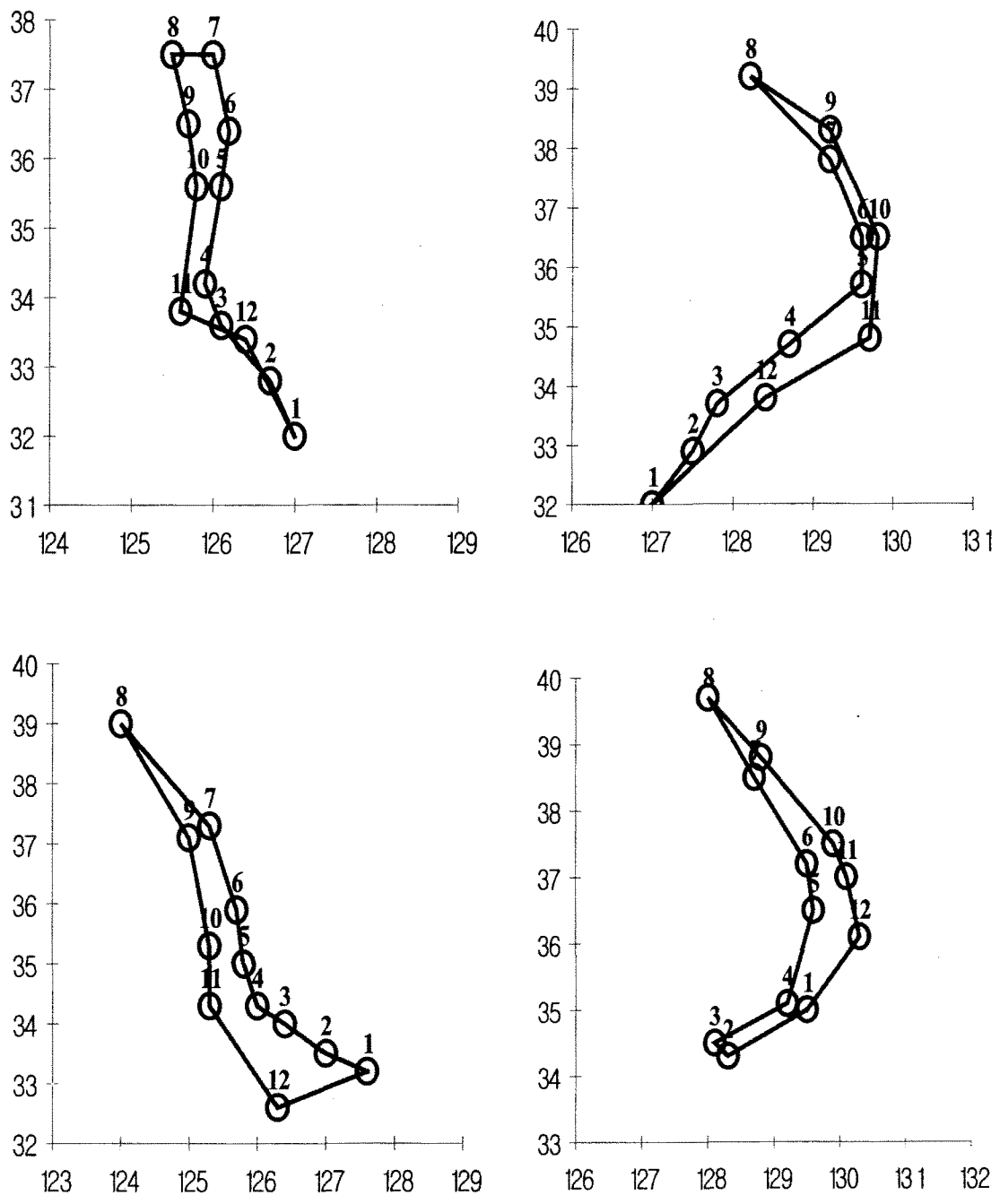
그 중 우리 나라의 서·남해안에 회유·산란하는 계군의 주 월동해역은 제주도 서남방 32~33 °N, 125~126 °E의 해역이다.

봄이 되면 동지나해의 난류 세력을 따라 북상하기 시작하여 우리나라의 서해안을 따라 회유하는 군은 4월경에 대흑산도 근해를 거쳐 5~6월에 그 일부가 연평도 근해에까지 이른다. 남해안을 따라 회유하는 군은 3월경에 거문도 근해를 거쳐 5월에는 남해안 전역에 분포하고, 9월에는 그 일부가 동해 남부 방어진 근해까지 북상하며, 10월이 되면 다시 월동장을 향하여 남하하면서 군이 분산된다.

그 외 어종들의 월별 주요 회유경로는 <그림 48>과 같다.



<그림 47> 갈치의 회유경로 (왼쪽은 서해, 오른쪽은 동해).



<그림 48> 말쥐치(위)와 멸치(아래)의 월별 회유경로.

어선운항과 어군탐지 모델에서 우리나라 주변의 4가지 예망어업의 주 대상인 어종 30 여종에 대하여 연중 회유경로 등에 의한 분포와 밀집도 등은 월별 회유경로(수산진흥원, 1998)를 입력하고, 일시에 따라서 주 경로를 보간하였다. 어군의 분포와 밀집도 (Gertseva & Gertsev, 2002; Jagielo et al., 2003; Francis et al., 2003)는 주경로에서 100마일 범위까지는 선형적으로 사인파형으로 감소하되 일시분에 따른 무작위적으로 변화하게 하였고, 주경로 위치에서 부터의 상대 방위 360도에 따라서는 무작위적으로 변화되도록 하였다. 어군의 밀집도는 어종에 따라 중층성 어류는 밀집도가 높게 저층성어류는 낮게 하였다. 실질적인

어군의 밀집도는 2003년3월과 6-8월 중 본학 실습선 새바다호에서 남해와 동해에서의 현장 어군탐지 결과와 1998-1999년 기선권현망의 현장조업 중에 얻어진 어탐화면과 함께 기존 문헌 (노, 1981)에 있는 어탐화면을 참고하여 어군의 형상과 두께 등을 추정하여 어탐신호 처리에 이용하였다. 주야의 시간(T_L)에 걸친 어류의 수직이동(이, 1981)에 대해서는 중층 어류는 주간 심도(D_D), 야간심도(D_S), 수면조도(L_D)가 0.01-1000 lx 범위일 때 유영심도 D_F (m) 는 일반적으로 난수 N_R 등에 따라 다음 식과 같이 선형적으로 유영심도를 바꾸게 하였다.

$$D_F = D_S + 0.5(D_D - D_S) \sin (N_F + T_L + N_R) \quad (L_D > 1000 \text{ lx}) \quad (21)$$

$$= \{D_S + (0.4+0.2 L_D)(D_D-D_S)\}(1-0.2N_R) \quad (L_D < 1000 \text{ lx})$$

일단 주야간의 심도가 변화되어 안정된 뒤에는 시간과 무작위 숫자에 의한 사인파형으로 약간의 유영층의 변화를 보이도록 하였다. 아울러 어탐화면에 나타내기 위한 플랑크톤도 주심야천으로 심도의 변화를 어류와 마찬가지로 발생시켰다.

제 8 절 어탐 모델

어군탐지 모델의 어군탐지기는 본학 새바다호의 칼리어탐 모델 (SIMRAD ES-60)을 선정하고, 위에서 발생시킨 어군에 대한 반사 신호 (이 & 이, 1996; 이 등, 1998; 이, 1999; Ona, 2003; Kang & Hwang, 2003)를 관련수식으로 추산하였으며, 넷트레코더는 새바다호의 TRAWL EYE (SIMRAD)를 선정하여 어탐과 같은 방법으로 망고, 망폭 등과 어군의 입망 상황에 대한 신호를 추산하였다.

1. 어탐 모델링

칼리어탐의 송파기 주파수 f (KHz)이고 음속 $c=1500\text{m/s}$ 이면 파장 $\lambda=c/f$ 이고, 수심은 r , 송수파기 반경 a , 송수파기 방사면적 A 라고 하면 송수파기 지향성 지수 DI 는

$$DI=10 \log (2\pi a/\lambda)^2 \quad (22)$$

송수파기 음향출력을 p , 변환효율 η 라 하면 송파레벨 SL (dB re $1\mu\text{pa}$ at 1m)과 수파감도 VR 은 각각 다음과 같다.

$$SL=DI+10\log(p) +170.8 \quad (23)$$

$$SL1=10^{(SL/10)}$$

$$VR=10\log(2.67\times 10^{-22}\times A\times \eta\times r) \quad (24)$$

$$VR1=10^{(VR/10)}$$

어류의 등방향 반사강도 TS(dB)은 체장 L(m), 계수를 α, β , 절편을 TS_i , 후방산란 단면적 σ (m^2)라 하면

$$TS= \alpha \log (L)-\beta \log(\lambda)-TS_i \quad (25)$$

$$TS= 10 \log(\sigma/4\pi)$$

어류가 음축상에서 편위된 각도를 θ , 파수 $k=2\pi/\lambda$, $J_1(*)$ 은 제1종 Bessel 함수라 하면 지향성계수 $b(\theta)$ 는

$$b(\theta)=\{2J_1(kasin(\theta))/(kasin(\theta))\}^2 \quad (26)$$

음파의 흡수 감쇄계수 ϵ 이라 하면, 출력전압의 실효치 $Pr(V)$ 는

$$Pr=\{SL1\times VR1\times b(\theta)\times(\sigma/4\pi)(10-0.2\epsilon r/r^4)\}^{0.5} \quad (27)$$

각각의 개체어로부터 송수파기에 수신되는 반사신호의 세기 $S(t)$ 는 시간 t , 각주파수 $\omega(=2\pi/f)$, 반사신호의 위상각 φ , 파형함수 $So(t)$ 이라 하면

$$St=Pr\times So(t-2r/c)\times \exp\{j(\omega(t-2r/c)+\varphi)\} \quad (28)$$

나타낼 수 있다. 이 반사신호 $S(t)$ 는 검파하여 양의 전압값 만을 취하여 각 개체어의 동일 시간에 대한 반사신호를 더하고 이 값에 이득(gain)을 배수 M 을 곱하여 최종 신호세기를 구하였다. 증폭시 TVG 이득특성은 거리에 따라 구현할 수 있게 하였다. 반사신호를 모니터의 칼라수 N 로 변환할 때는 $St=2^N$ 으로 칼라어탐에서 일반적으로 사용하는 청색에서 적색까지 8가지 색으로 구분하여 표시되도록 하였다.

2. Trawl Eye 모델

넷트레코더는 본학 새바다호의 어망감시시스템인 TRAWL EYE (SIMRAD, TE40)를 선택하여 모델링 하였는데 망구 부근의 어군탐지 방법은 위의 어군탐지 원리를 동일하게 이용하였다. 예망 중 어구에 관한 정보는 예망어획 과정에서의 어구형상에서부터 끌줄길이, 끌줄장력, 전개판 간격, 망고, 날개간격, 예망수심 등을 수치로 도시하였다.

제 9 절 세부모델의 통합

본 예망어업 시뮬레이터의 전반적인 구성은 크게 세 가지로 어탐항해 모듈, 어구형상 모듈, 어획과정 모듈로 구성하였다. 어탐 항해모듈은 연월일시, 출발위치, 선속과 침로 등의 기본적인 설정에 의하여 우선 우리나라 주변 수역에서의 주요한 어업생물 30여종에 대한 어군탐지 화면을 시뮬레이션하면서 동시에 본선의 조종 및 항해와 해황에 관련된 위치, 수온, 염분, 풍향, 풍속, 파고 등의 정보들이 브리지모니터에 디스플레이 된다. 어군탐지기 화면에서는 수심설정, Gain 변경, 기록 시프트 이동속도 등을 실시간으로 변경할 수 있으며, 또한 선속과 침로를 자유로이 변경할 수 있다. 이러한 정보들은 본 어탐 항해 모듈을 끝내고 다른 모듈로 전환할 때 저장되어 이용하게 된다.

어구형상 모듈에서는 우선 어업의 종류를 저층트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권 현망으로 구분하여 선택한 다음 어구모델을 선택하고 어구모델의 설계도에 의한 입력 자료의 메뉴를 구성하였다. 어구정보 입력 메뉴에서는 어구형상 시뮬레이션에 필요한 그물판 정보, 그물판 연결정보, 성형률, 부력 및 침강력, 어포부 초기저항, 예망속도 등을 입력하거나 기존 자료를 변경할 수 있다. 어구정보 입력화일을 선택하고 어구형상 시뮬레이션을 작동하여 결과 화일을 지정한 후 어구형상메뉴를 작동하여 선택한 3개 까지의 어구의 수중형상을 3차원적으로 그물판별 색상변화, 좌우 상하 회전, 원근이동 등의 전반적인 어구형상의 디스플레이가 가능하다.

예망 어획과정의 모듈에서는 우선 입력자료메뉴에서 위의 어탐 항해모듈에서 예망일시, 어장위치 및 해황정보 등과 어구형상모듈에서의 어구형상 등의 정보에서부터 입력자료를 자동으로 지정하여 구성하거나 별도로 메뉴에서의 변경이 가능하도록 하였다. 다음은 어획과정의 시뮬레이션을 작동하여 어류의 3차원 이동 및 어획에 관한 결과화일과 어탐 및 트롤아이 결과 화일을 지정, 저장하고, 어류행동 애니메이션 메뉴를 작동하면 어류, 어장, 어구 등의 수중 가상 예망 광경을 3차원화면을 실시간으로 좌우 상하 회전, 원근이동 등을 도시할 수 있도록 하였다.

본 예망어업 시뮬레이터의 구성, 작동은 인텔계열이나 알파계열 CPU와 OS는 MS 윈도우나 LINUX에서 모두 동작이 가능하며, 어탐 항해모듈은 인텔펜티엄4, 2.0GHz 이상이면 실시간 어탐 디스플레이가 가능하다. 어구형상 모듈에서는 계산시간이 인텔 펜티엄4, 2.5GHz과 알파 833MHz에서 서로 비슷하게 수십초 정도가 소요되어 복잡한 어구구조의 경우에도 1분 이내에 완료된다.

어획과정 시뮬레이션의 계산시간에 관계되는 요소는 어구의 축소점수, 어류 개체수, 어구규모 등으로 파악되었다. 1시간 동안 9000미의 어류가 소형 북해 저층트롤(어구 축소점수 2530개)에 조우할 경우 본 16노드 클러스터 시스템에서의 시뮬레이션 시간은 약 4-5시간 정도 소요되었다. 그러나 어구 축소점수를 1/3로 하고, 어류 개체수

를 2000미로 할 경우의 교습용 프로그램으로 계산한 결과 계산 소요시간은 1시간 내외로 거의 실예망 시간으로 시뮬레이션이 수행되었으며, 이때 계산시간 단위 (0.5초)별로 활동적인 개체수는 70-80미 정도였고 어획비율 등은 거의 비슷하였다. 다만 어류이동좌표 등은 원프로그램 결과와 약간의 차이가 있었으나 교습용으로는 전혀 지장이 없을 정도였다.

따라서 최신 알파 1.2GHz CPU 또는 인텔 펜티엄 3GHz이상, 인텔 아이테니엄 1.4GHz CPU와 1Gbps급 통신장비를 사용한 16노드 클러스터 시스템을 사용하면 어류 개체수 3000미 이상을 발생시키는 교습용 시뮬레이션의 계산과 애니메이션이 거의 실예망 시간으로 수행될 것으로 예상된다. 본 예망어업 시뮬레이터의 혼돈행동에 의한 어획과정의 시뮬레이션 시간은 CPU성능과 데이터 통신성능에 크게 의존하므로, 향후 컴퓨터 하드웨어 성능이 배가되면 전문가용으로 확장된 원예망어업 시뮬레이션도 거의 실시간으로 수행될 수 있을 것으로 본다.

제 5 장 예망어업 시뮬레이터의 그래픽 및 애니메이션

본 연구의 목표는 베어울프 시스템으로부터 전송되어 오는 어구의 혼돈 행동 및 어획 모델링 계수 데이터를 기반으로 하여, 예망 어구의 3차원 수중형상 그래픽, 어업 계측 정보 디스플레이, 어로장비 작동 디스플레이, 어탐 신호 처리 및 디스플레이, 수중형상 3차원 애니메이션 (Kerlow, 2000)을 실시간으로 구현하는 것이다.

본 연구의 목표를 달성하기 위해서는 예망어업 시뮬레이터 사용자와의 상호작용과 사실성 있는 이미지 장면들의 묘사가 필수적이다. 또한, 해저의 Sand Cloud 효과 등의 묘사는 Particle System을 이용하여 생성하여야 하는데, 이를 지원하기 위해서는 고성능의 컴퓨터 하드웨어와 함께 빠른 그래픽 처리 프로그래밍 도구가 요구된다.

위의 요구를 만족시킬 수 있는 그래픽 프로그래밍 도구로써 가장 보편적이면서 강력한 API 기능을 가지고 있는 OpenGL (Wright & Sweet, 2000)이 있다. 이 OpenGL은 상용화된 대부분의 시스템 환경에 기본적으로 통용되고 있는 표준 그래픽 API이며, 그래픽 처리를 위한 연산의 효율성과 결과의 표현 방법도 VRML에 비해 우수한 성능을 가진다. 또한, 대부분의 호스트 언어에 적용하여 사용할 수 있다는 장점과 리눅스 및 윈도우 환경에 공통으로 적용되므로 향후 교육 및 상업적인 목적 달성을 위한 부분에서도 큰 이점을 가진다. 따라서 본 연구에서도 이 OpenGL을 사용하여 C 루틴과 점프시킴으로써 예망어업 시뮬레이터의 그래픽, 애니메이션을 실현하였다.

제 1 절 수중환경 그래픽 처리

정적인 수중 환경의 표현은 사실성을 저해하므로 동적인 수중 환경의 표현을 위하여 시간의 흐름에 따른 랜덤한 해저 영상을 사용하였다. 또한 해저의 Sand Cloud를 표현하기 위하여 Particle System과 정지영상의 혼합사용으로 속도를 극복한 효과적인 디스플레이를 구현하였다.

1. 그래픽 및 애니메이션 환경 설정

단일 시스템 환경에서는 대량의 자료처리를 단시간에 수행하기 어렵기 때문에 리눅스 기반의 베어울프 컴퓨터 시스템에서 예망어업 모델의 대량의 자료를 병렬적으로 계산 처리하여 디스플레이를 위한 정보를 제공한다. 그러나 처리된 정보 또한 매우 많으므로 일정공간에 저장하여 그래픽 처리하기에는 실시간 처리에 대한 효과를 거둘 수 없다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 컴퓨터 시스템에서 처리된 결과는 일정공간에 버퍼링 된 후 곧바로 그래픽 처리를 위한 클라이언트 시스템에 전달하여 전 처리한 후 디스플레이를 구현하였다. 클라이언트 시스템은 클러스터 시스템의 모니터링노드를

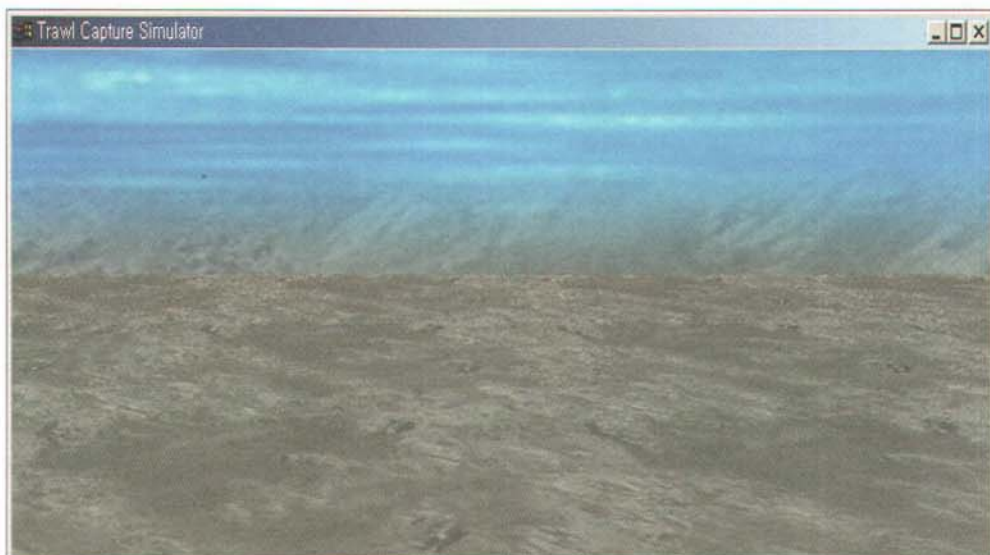
결하며, 인텔 펜티엄 2.5GHz, 1 GB RAM, VGA 128MB, 22" LCD로 구성하였으며, 클러스터 시스템의 범용성과 그래픽표현의 성능을 고려하여 리눅스와 윈도우 환경으로 구축하였다. 따라서 OpenGL을 C 언어와 접목시킨 본 예망어업의 그래픽과 애니메이션 프로그램은 윈도우나 리눅스하에서 작동이 가능하게 하였다.

2. 그래픽 및 애니메이션 개발 소프트웨어 선정

본 연구에서 채용한 그래픽 도구인 OpenGL은 리눅스와 윈도우 환경에 공통적으로 사용되는 API를 제공하므로써 특정 운영체제에 제한되지 않고 본 시뮬레이터를 구현할 수 있다. OpenGL은 본질적으로 3D 그래픽과 모델링 라이브러리로 인식이 쉽고 속도가 빠르다. OpenGL를 사용하면 Sand Cloud 나 해저 형상과 같은 시각적 효과를 갖는 미려한 3D 그래픽을 만들 수 있다. 또한, OpenGL은 컴퓨터 그래픽과 애니메이션 분야에서 최적화된 알고리즘을 사용하고 있어 이미 검증된 도구이다. 그리고 산업계 표준으로 부각된 OpenGL의 사용이 향후 응용과 유지보수성에 큰 이점이 있어 본 연구는 OpenGL를 주 그래픽 라이브러리로 사용하였다.

3. 해저 환경의 영상처리

해저 환경은 해저 Map (Debevec et al., 1998)을 사용하여 구현되는데, 이는 시간적인 흐름과 환경적인 변화에 따라 무작위로 선택된 단일 Map의 다수의 집합으로 형성된다. 해저의 다양한 물체들 (돌, 해초, 생물, 기타) 또한 무작위 검색을 통하여 형성된다. 이러한 처리과정을 거쳐 만들어진 해저 환경 영상의 예는 <그림 49>와 같다.



<그림 49> 해저 환경의 영상 예.

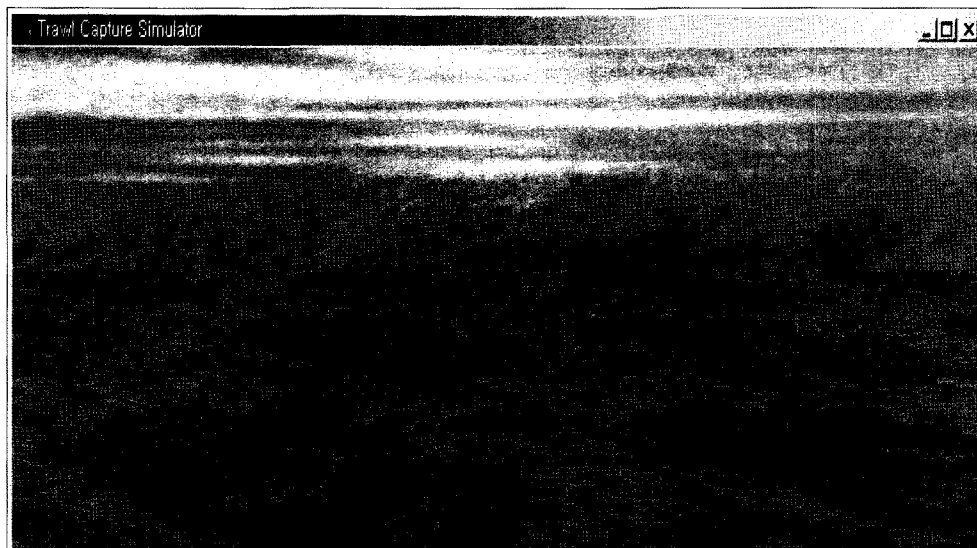
결하며, 인텔 펜티엄 2.5GHz, 1 GB RAM, VGA 128MB, 22" LCD로 구성하였으며, 클러스터 시스템의 범용성과 그래픽표현의 성능을 고려하여 리눅스와 윈도우 환경으로 구축하였다. 따라서 OpenGL을 C 언어와 접목시킨 본 예망어업의 그래픽과 애니메이션 프로그램은 윈도우나 리눅스하에서 작동이 가능하게 하였다.

2. 그래픽 및 애니메이션 개발 소프트웨어 선정

본 연구에서 채용한 그래픽 도구인 OpenGL은 리눅스와 윈도우 환경에 공통적으로 사용되는 API를 제공하므로써 특정 운영체제에 제한되지 않고 본 시뮬레이터를 구현할 수 있다. OpenGL은 본질적으로 3D 그래픽과 모델링 라이브러리로 인식이 쉽고 속도가 빠르다. OpenGL를 사용하면 Sand Cloud 나 해저 형상과 같은 시각적 효과를 갖는 미려한 3D 그래픽을 만들 수 있다. 또한, OpenGL은 컴퓨터 그래픽과 애니메이션 분야에서 최적화된 알고리즘을 사용하고 있어 이미 검증된 도구이다. 그리고 산업계 표준으로 부각된 OpenGL의 사용이 향후 응용과 유지보수성에 큰 이점이 있어 본 연구는 OpenGL를 주 그래픽 라이브러리로 사용하였다.

3. 해저 환경의 영상처리

해저 환경은 해저 Map (Debevec et al., 1998)을 사용하여 구현되는데, 이는 시간적인 흐름과 환경적인 변화에 따라 무작위로 선택된 단일 Map의 다수의 집합으로 형성된다. 해저의 다양한 물체들 (돌, 해초, 생물, 기타) 또한 무작위 검색을 통하여 형성된다. 이러한 처리과정을 거쳐 만들어진 해저 환경 영상의 예는 <그림 49>와 같다.



<그림 49> 해저 환경의 영상 예.

해저 영상은 해저 바닥면과 배경수중, 그리고 해저바닥의 물체의 세 부분으로 나누었다. 해저바닥의 영상은 텍스처 (Hoppe, 1998)를 이용하여 지형을 생성하는데, 단순 텍스처는 지형이 평평하게 나타나므로 사실적인 표현에 제한이 있다. 본 연구에서는 프랙탈 알고리즘을 사용하여 여러 개의 사각형으로 나누어진 중간과 모서리의 점을 위로 올리거나 아래로 내림으로써 사실성에 가까운 지형을 생성한다. 이 작업은 지형 배열에 있는 모든 원소가 분할될 때까지 계속된다. 텍스처의 좌표를 일일이 생성하는 것은 일정한 지형으로 고정된 느낌을 주므로 제한된 공간 좌표를 입력으로 하여 각 원소점을 자동으로 생성하는 무작위 알고리즘을 사용하여 좌표를 생성한다. 배경 수중 영역의 영상처리는 단순 텍스처를 사용하여 시간적인 흐름에 따라 이동하는 효과로 구현하였다. 마지막으로 수중물체는 지형생성 알고리즘과 유사한데, 지형생성에서 산출된 좌표값을 특정 높이와 비교하여 절대값 이하일 때 물체들을 무작위로 생성하도록 하였다.

4. 해저 뱀물 (Sand Cloud) 디스플레이

저층트롤에서 전개판이 해저에서 예인될 때, 해저에서 발생하는 Sand Cloud (Main & Sangster, 1981)의 수중 비디오 영상은 <그림 50>과 같다.

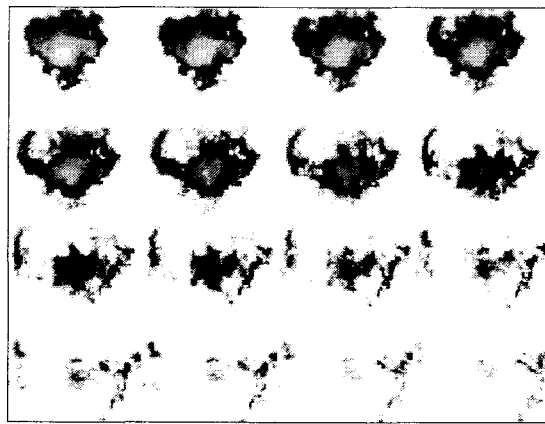


<그림 50> 전개판에 의한 해저의 Sand Cloud (Main & Sangster, 1981).

이와 같은 뱀물의 확산현상을 묘사하는 데는 미립자 시스템을 이용하는 절차적 애니메이션을 사용하였다. 미립자 시스템은 일반적으로 정의된 동작을 따르는 미립자들의 운동을 재현하는 것이다. 여기에는 일련의 규칙이 필요하며, 미립자들의 크기, 모양, 생존기간 등의 변수 제어가 적용된다.

전개판 등에 의한 Sand Cloud (Harris & Lastra, 2001)는 다수개의 입자가 모여서

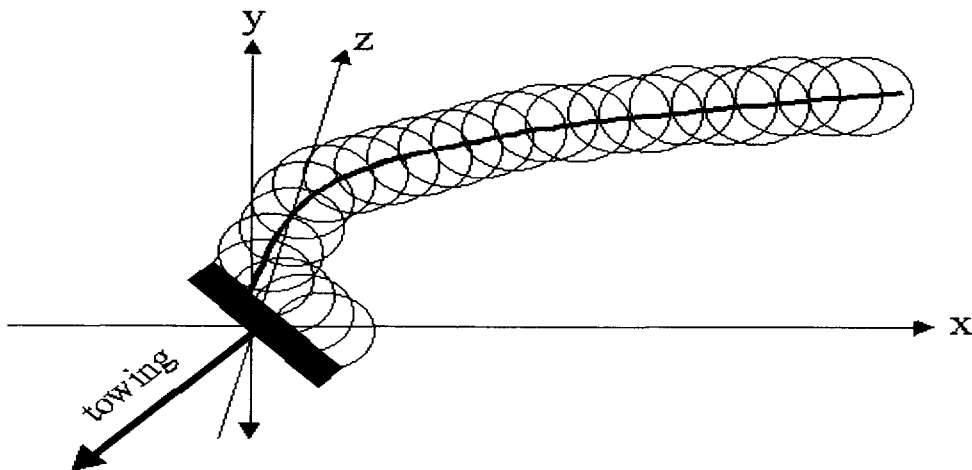
형성되는 particle system (Hoknew & Eastwood, 1988)으로 구현하였다. 각 입자의 생성을 일일이 연산하여 산출하게 되면 전체적인 어류의 유영과 어구의 형상에 대한 표현 시간이 현저히 떨어지게 되므로, Sand Cloud를 생성하는 과정은 가능한 한 단순화하여 구현하였다. 그러나, 실제 뱀물과 유사한 시각적인 특징 (Nishita et al., 1996)을 보일 수 있도록 입자 유영 알고리즘을 이용하여 사실적인 영상을 표현하는데 별 문제가 없도록 하였다. 이는 주목적인 어류이동 애니메이션과 어구의 그래픽 표현에 가능한 영향을 적게 주기 위해서이다. 먼저, 16개의 다변적인 입자를 <그림 51>과 같이 구성하고, 이 입자를 시간적인 흐름에 따라 단위 영상을 변화시키는 방법으로 Sand Cloud 효과를 구현하였다.



<그림 51> Sand Cloud를 위한 16개의 단위 픽처.

가. 주 궤적의 발생

먼저 Sand Cloud가 발생하여 확산 진행하기 위한 궤적은 다음 <그림 52>와 같이 X축은 예인방향, Y축은 수심방향, Z축은 예인방향에 수직인 전개방향으로 설정하였다.



<그림 52> 해저의 Sand Cloud 발생 궤적.

<그림 52>에서 전개판에서 시작하는 뿔물의 주 진행 궤적상의 한 점 $P(x, y, z, t)$ 의 3차원 공간상의 좌표는 다음 식 (14)에 따라 결정되며, 시간과 X, Z위치에 따라 예 인축 방향으로 진행하면서 X축 방향으로 휘어지는 듯한 형태를 가진다.

$$\begin{aligned} x(t) &= a_1 t \\ y(t) &= a_2 \ln(x, t) \\ z(t) &= a_3 \ln(z, t) \end{aligned} \quad (29)$$

여기서 a_1 은 시간 t 일 때의 x 좌표 값을 결정하는 비례상수이고, a_2 는 주 궤적의 y 축 방향으로의 폭을 결정하는 비례상수이며, a_3 은 주 궤적이 z 축 방향으로 휘는 정도를 나타내는 비례상수이다.

나. 주 궤적을 따르는 나선형 궤적의 발생

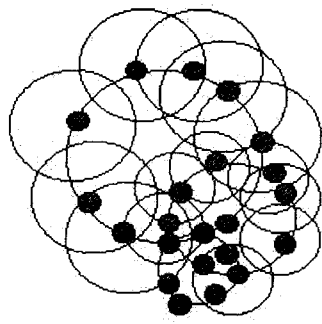
시간의 흐름에 따라 연속으로 생성되는 Sand Cloud의 궤적은 주 궤적을 따르는 스프링 모양의 원형 나선형 궤적이다. 이 나선형 궤적의 반경을 h_1 이라 할 때, 나선형 궤적상의 한 점 $P(x_1, y_1, z_1, t)$ 의 좌표는 다음 식 (30)에 따라 결정된다.

$$\begin{aligned} x_1(t) &= h_1 \sin(A) + x(t) \\ y_1(t) &= h_1 \cos(A) + y(t) \\ z_1(t) &= dz_1(t) + z(t) \end{aligned} \quad (30)$$

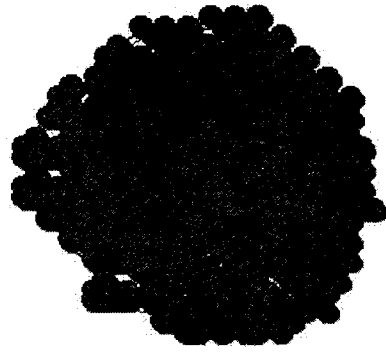
여기서 각도 A 는 $0 \leq A \leq 2\pi \cdot N_c$ 의 범위를 가지며, N_c 는 나선형 궤적의 발생 횟수를 나타낸다. 그리고 $dz_1(t)$ 는 나선형 궤적이 진행하면서 주 궤적상의 z 축 좌표인 $z(t)$ 를 중심으로 발생하는 z 축 방향으로의 ±변이를 나타낸다.

다. 나선형 궤적상의 Sand Cloud 입자의 발생

나선형 궤적 상에 존재하는 모든 점들의 수를 n_1 이라 하면, 이 n_1 개의 점들 중에서 n_2 ($\ll n_1$)개의 임의의 점을 선택하고, 이 점의 좌표를 중심으로 하는 임의의 랜덤한 반경 $r_{1(rand)}$ 의 구 입자를 다음 <그림 53>의 (a)에서와 같이 발생시킨다.



(a)



(b)

<그림 53> Sand Cloud 입자의 발생.

라. 랜덤 입자들의 발생

이번에는 나선형 궤적 상에 임의로 발생시킨 임의 반경의 입자들 각각을 중심으로 하는 반경 h_2 의 새로운 원 궤적을 발생시킨 다음, 이 원 궤적 상에 임의 반경 $r_{2(rand)}$ 의 새로운 구 입자를 발생시킨다. 그리고 또 다시 이 구들을 중심으로 하는 새로운 반경 h_3 의 원 궤적과 이 궤적 상에 반경 $r_{3(rand)}$ 의 구 입자를 발생시킨다. 이 때 원 궤적의 반경들 사이의 관계와, 구 입자들의 반경간의 관계는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 h_1 > h_2 > h_3 > \dots > h_n \\
 r_{1(rand)} > r_{2(rand)} > r_{3(rand)} > \dots > r_{n(rand)}
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

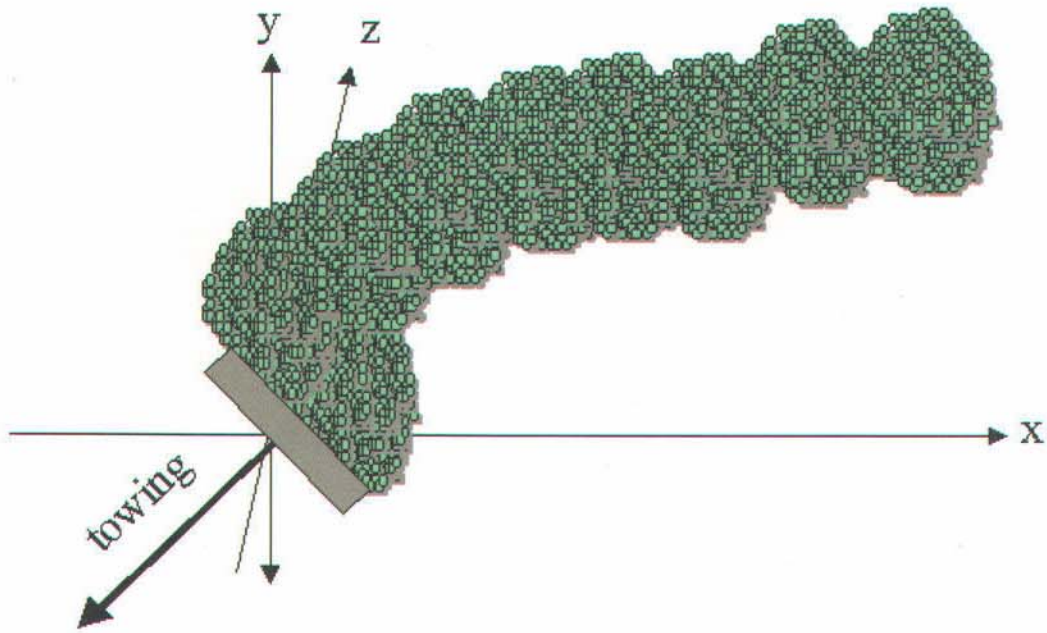
이와 같은 과정을 반복하여 n 회 진행함으로써 <그림 53>의 (b)와 같은 Sand Cloud를 발생시킨다. 여기서 $(n-1)$ 회의 단계에서 반경이 r_{n-1} 인 구 입자를 중심으로 하여 반경이 h_n 인 원 궤적을 새롭게 형성하면, 다음 단계에서 이 원 궤적 상에 새롭게 형성될 구 입자들의 중심 좌표 $P(x_n, y_n, z_n, t)$ 는 다음 식에 따라 결정된다.

$$\begin{aligned}
 x_n(t) &= h_n \sin(A) + x_{n-1}(t) \\
 y_n(t) &= h_n \cos(A) + y_{n-1}(t) \\
 z_n(t) &= dz_n(t) + z_{n-1}(t)
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

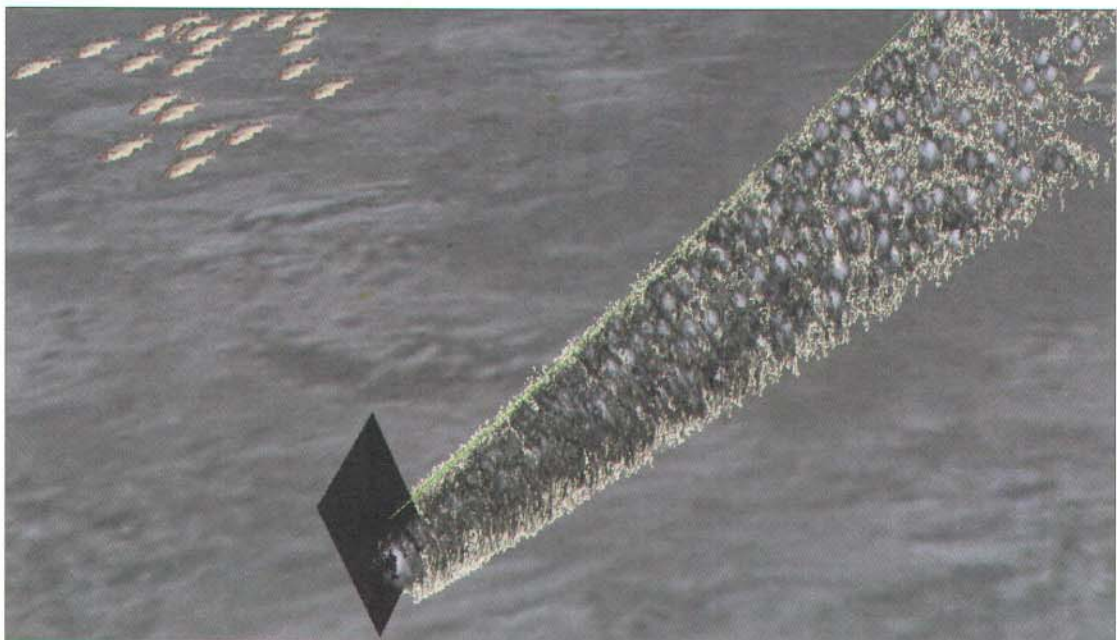
여기서 A 는 $0 \leq A \leq 2\pi$ 의 범위를 가진다. 그리고 $dz_n(t)$ 는 현재의 원 궤적의 중심이 되는 구 입자의 중심 좌표에서, z 축 좌표인 $z_{n-1}(t)$ 을 중심으로 발생하는 z 축 방향으로의 ±변이를 나타낸다.

마. 해저 Sand Cloud의 발생

지금까지의 과정을 순차적으로 거치면서 시간의 흐름에 따라 구 입자들을 발생시키면 실제 Sand Cloud와 같은 현상을 다음 <그림 54>에서와 같이 발생시킬 수 있다.



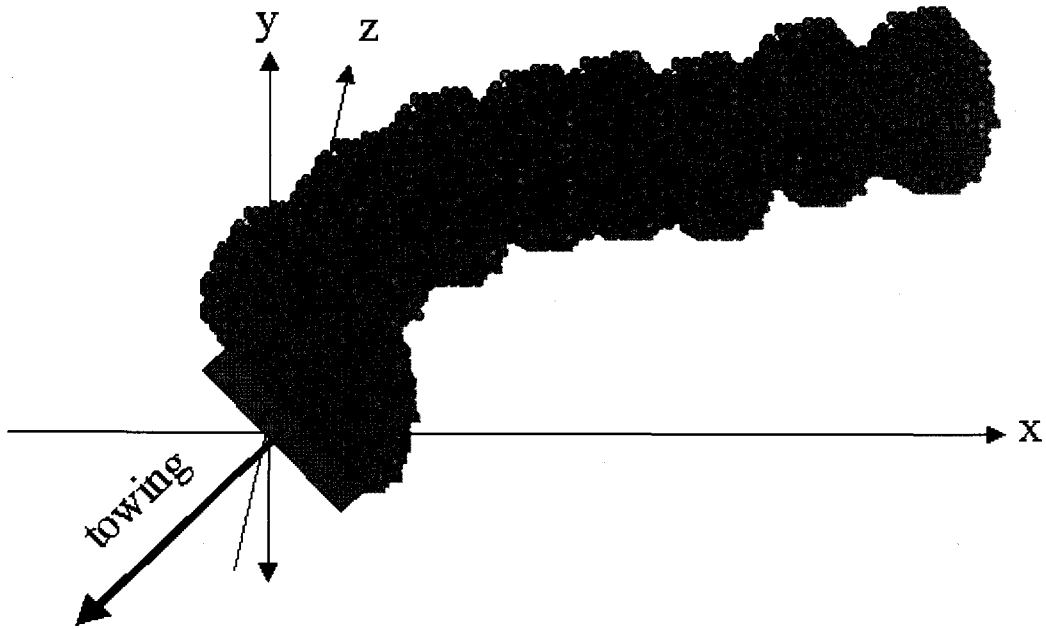
<그림 54> 해저 Sand Cloud의 발생.



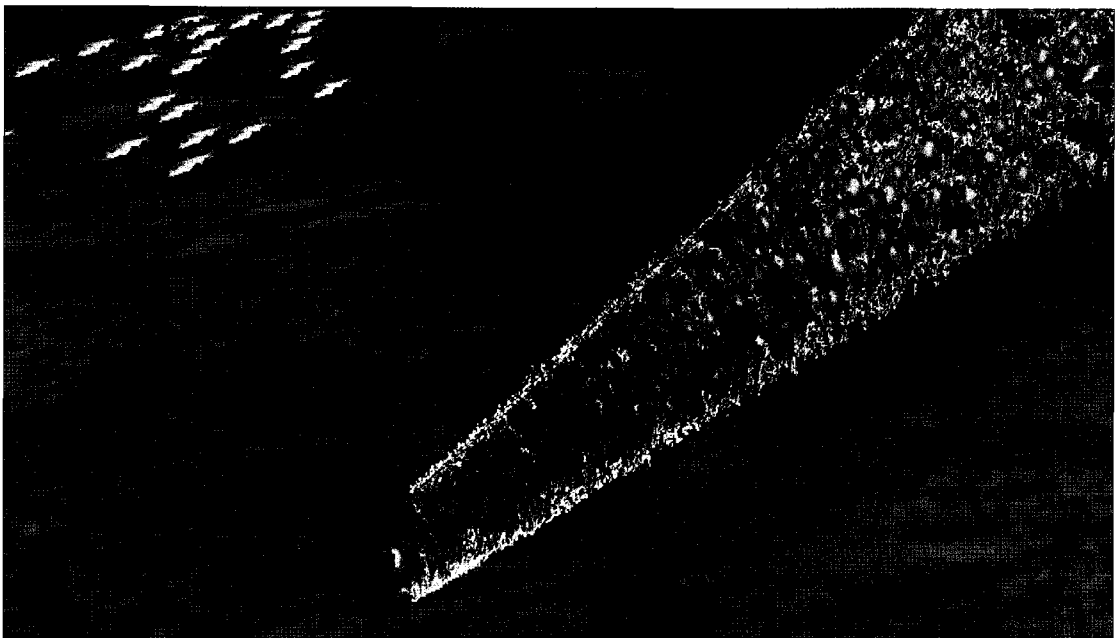
<그림 55> 해저바닥 Sand Cloud 디스플레이.

다. 해저 Sand Cloud의 발생

지금까지의 과정을 순차적으로 거치면서 시간의 흐름에 따라 구 입자들을 발생시키면 실제 Sand Cloud와 같은 현상을 다음 <그림 54>에서와 같이 발생시킬 수 있다.



<그림 54> 해저 Sand Cloud의 발생.



<그림 55> 해저바닥 Sand Cloud 디스플레이.

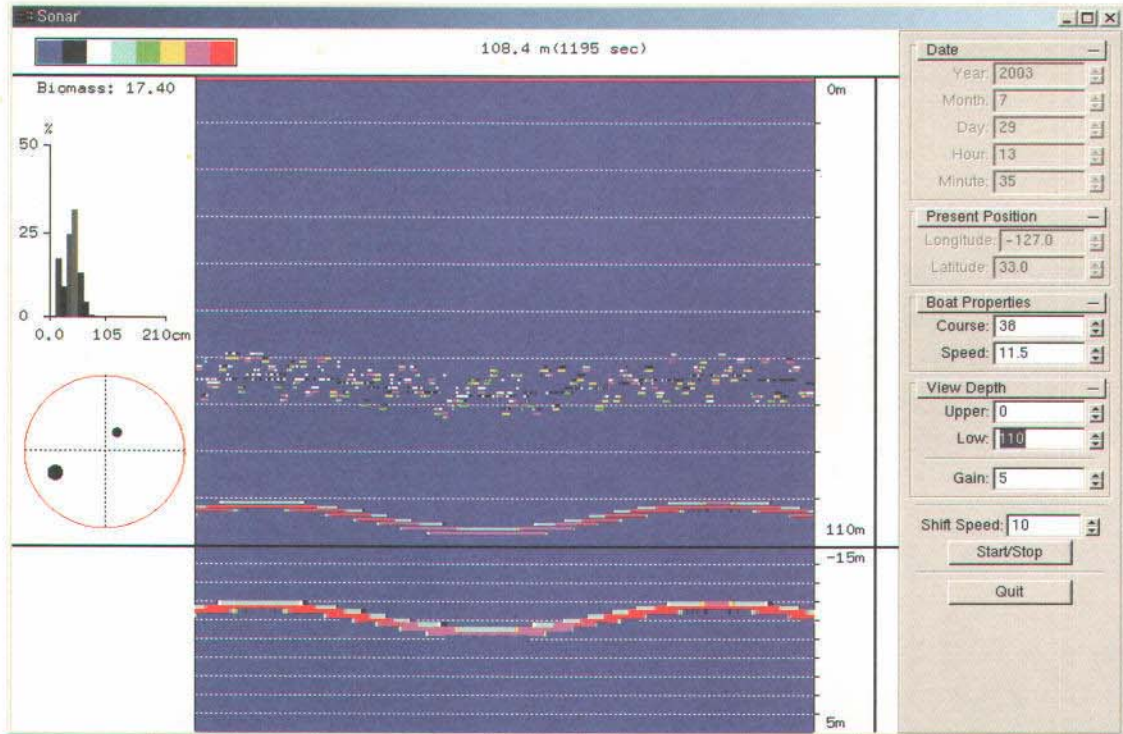
그리고, 입자들의 변화 추이에 대한 측면 단면 형상은 앞에서 <그림 52>와 같이 입자들이 이동하도록 하였다. 이와 같은 과정을 거쳐서 실제 그래픽 처리한 뿔물의 영상은 <그림 55>와 같다. <그림 53>의 16개의 단위 픽처의 수를 32개 정도로 늘인다면 좀 더 상세한 뿔물의 효과를 얻을 수 있을 것이며, 입자의 크기도 각기 다르게 하여 생명주기를 부여한다면 사실성에 더 가깝게 나타낼 수 있을 것이다. 그러나 위에서 언급했듯이 그에 대한 연산의 가중을 고려되어야 한다. 입자들의 사실적 표현을 위해서는 1만여개 이상의 입자들의 좌표, 질량, 생명주기 등 많은 정보를 가져야 하며, 아울러 그 애니메이션 역시 많은 연산을 필요하게 되어 현재의 컴퓨터 성능으로 해저와 어구 및 어군 등을 동시에 실시간으로 애니메이션을 구현하는데는 제한이 따르게 된다. 따라서 입자시스템을 이용한 Sand Cloud 생성과 물리학적, 역학적 연구가 병행되어야 하는데, 위에서도 언급한 것과 같이 본 연구의 주목적이 어류유영과 예망작업에 있으므로 수중뿔물에 대해서는 향후 세부적인 추가 연구가 필요한 것으로 보인다.

제 2 절 어선운항 및 어탐 신호 처리 및 디스플레이

1. 어탐 영상 디스플레이

예망어선에서 어군을 찾아서 항해하는 경우의 어탐 신호 처리는 Simrad ES60 칼라어탐 모델을 기본으로 하여 앞의 어류분포 발생모델과 어탐 모델에 따라 모니터 영상으로 디스플레이 된다. 이들 모델에 필요한 기본적인 연, 월, 일, 시, 분과 어탐 시작 위치, 운항 정보 등을 가지고 실시간으로 어탐 화면을 표현하는 방식인데, 그 결과는 <그림 56>과 같다.

실시간 어탐 신호처리는 사용자로부터 날짜 및 위도, 경도, 선속과 침로 등의 다양한 정보를 입력받아 구현되는데, <그림 56>의 우측에 있는 메뉴가 이러한 사용자 인터페이스 영역이다. 이 영역에서의 주요 입력은 날짜, 위도, 경도, 선속, 침로, 어탐의 상하 수심 등을 조절할 수 있다. 특히, 지형정보와 관련된 날짜와 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. 그외 탐지 수심이나 이득(Gain), 화면이동속도(Shift speed)는 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 56>의 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.



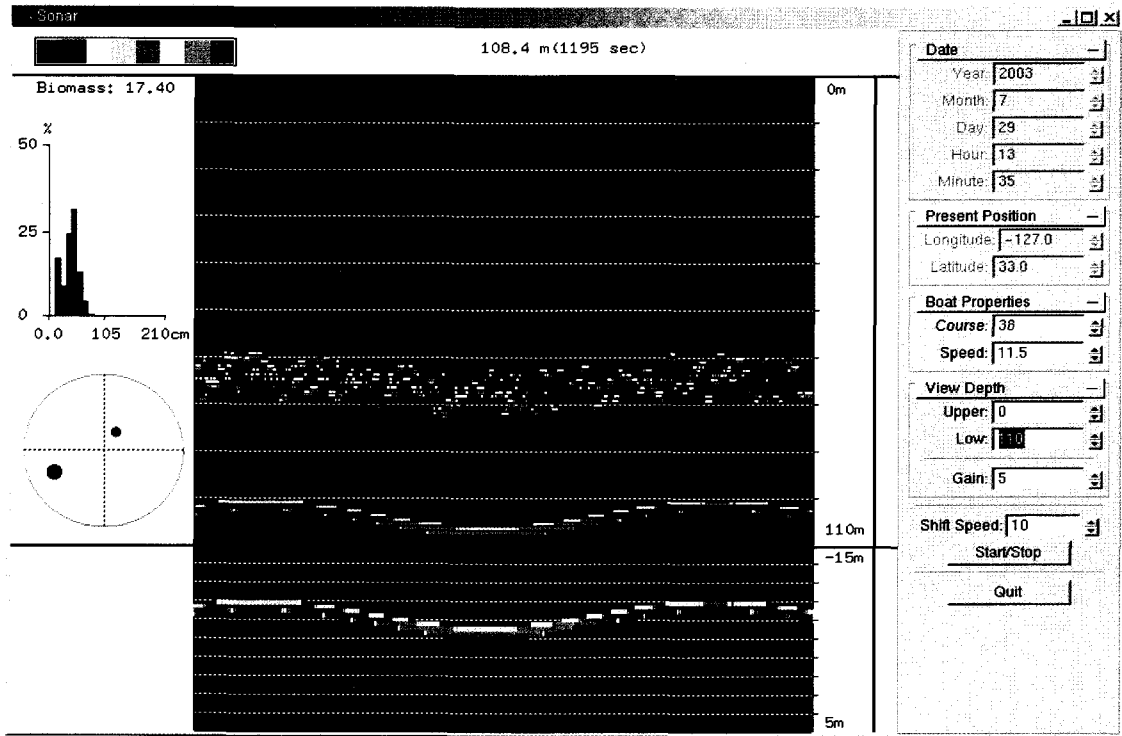
<그림 56> 실시간 어탐 신호 처리 영상.

아울러, 어탐의 원추형 송파빔의 제한된 원범위 내에서 감지되는 어류의 위치좌표를 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 좌측하단 원내에 표현하고 있다.

2. 어선 운항 브리지 모니터

어선의 운항에 관한 디스플레이는 우선 <그림 57>과 같이 조타기 작동, 기관의 회전수 조정 및 스크류 피치각조정 등의 작동을 마우스로 조정하도록 하였다. 그 작동의 결과 운항에 관한 정보는 실습선 새바다호의 운항정보 모니터(TOIMEC INC, BRIDGE MONITOR BM-2000)를 채용하여, 어군발생모델과 어탐모델에서 전송되는 항해운항관련 정보인 엔진 RPM과 피치, 위도, 경도, 선속, 침로 및 유향, 유속, 수온, 염분농도, 풍향, 풍속 등을 <그림 58>과 같이 실시간으로 표시되도록 하였다.

<그림 56>과의 동시성 관계를 표현하기 위하여 우측화면에 현재의 경도와 위도 그리고 진행 시간을 표현 하므로써 <그림 56>과 <그림 57>의 화면이 동시 진행되는 화면임을 사용자에게 보여 주도록 하였다. 또한 본 디스플레이는 위의 <그림 56>에서 보인 어탐 신호 처리 영상과 동일시점, 동일화면에 멀티뷰로 표현하여 <그림 59>와 같이 구성할 수도 있고 각각의 화면을 윈도우로 띄워 볼 수도 있다. 즉, 위도나 경도 그리고 시간의 변화에 따른 어탐 상황을 운항정보와 같이 보여 주므로써 사용자에게 한층 높은 이해도와 상호 관계성을 인지시킬 수 있다.



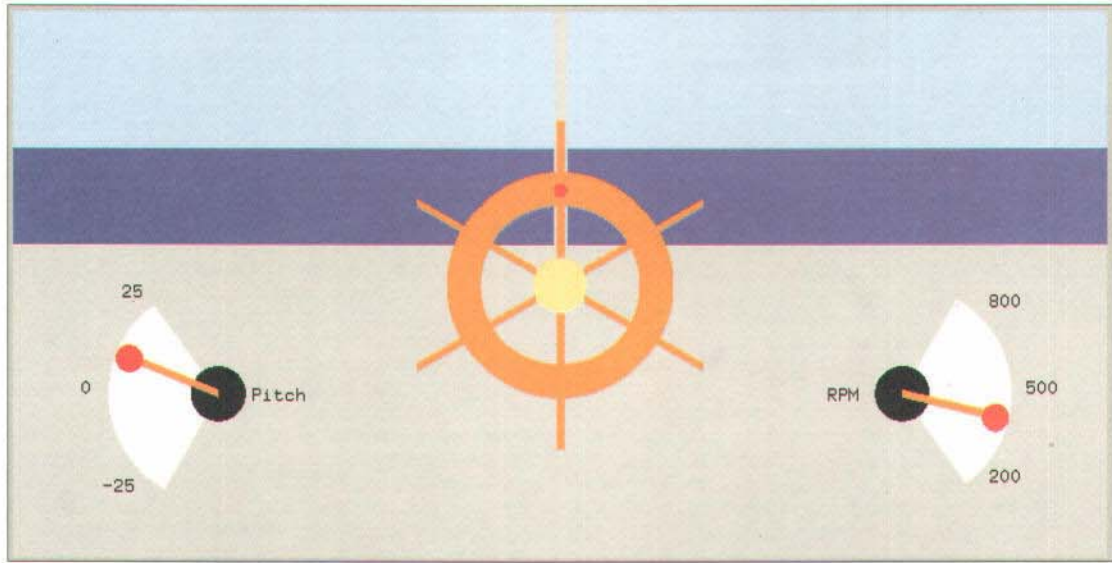
<그림 56> 실시간 어탐 신호 처리 영상.

아울러, 어탐의 원추형 송파빔의 제한된 원범위 내에서 감지되는 어류의 위치좌표를 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 좌측하단 원내에 표현하고 있다.

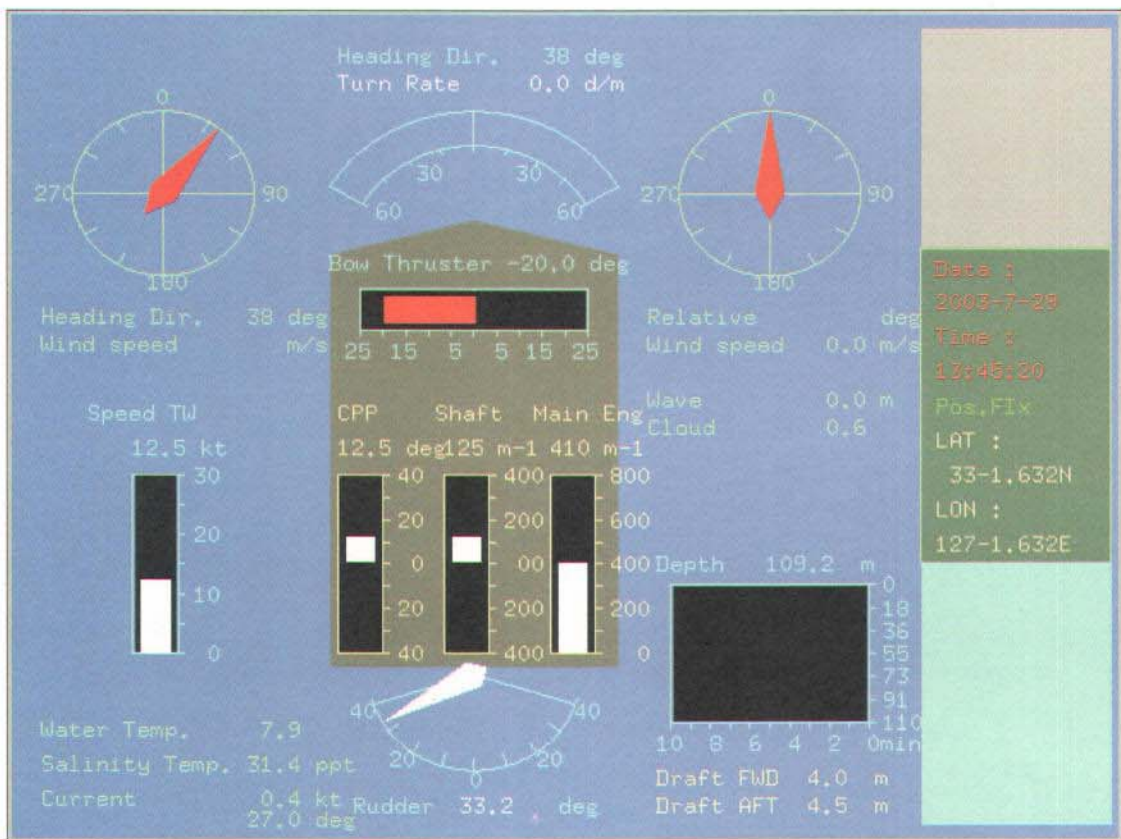
2. 어선 운항 브리지 모니터

어선의 운항에 관한 디스플레이는 우선 <그림 57>과 같이 조타기 작동, 기관의 회전수 조정 및 스크류 피치각조정 등의 작동을 마우스로 조정하도록 하였다. 그 작동의 결과 운항에 관한 정보는 실습선 새바다호의 운항정보 모니터(TOIMEC INC, BRIDGE MONITOR BM-2000)를 채용하여, 어군발생모델과 어탐모델에서 전송되는 항해운항관련 정보인 엔진 RPM과 피치, 위도, 경도, 선속, 침로 및 유향, 유속, 수온, 염분농도, 풍향, 풍속 등을 <그림 58>과 같이 실시간으로 표시되도록 하였다.

<그림 56>과의 동시성 관계를 표현하기 위하여 우측화면에 현재의 경도와 위도 그리고 진행 시간을 표현 하므로써 <그림 56>과 <그림 57>의 화면이 동시 진행되는 화면임을 사용자에게 보여 주도록 하였다. 또한 본 디스플레이는 위의 <그림 56>에서 보인 어탐 신호 처리 영상과 동일시점, 동일화면에 멀티뷰로 표현하여 <그림 59>와 같이 구성할 수도 있고 각각의 화면을 윈도우로 띄워 볼 수도 있다. 즉, 위도나 경도 그리고 시간의 변화에 따른 어탐 상황을 운항정보와 같이 보여 주므로써 사용자에게 한층 높은 이해도와 상호 관계성을 인지시킬 수 있다.

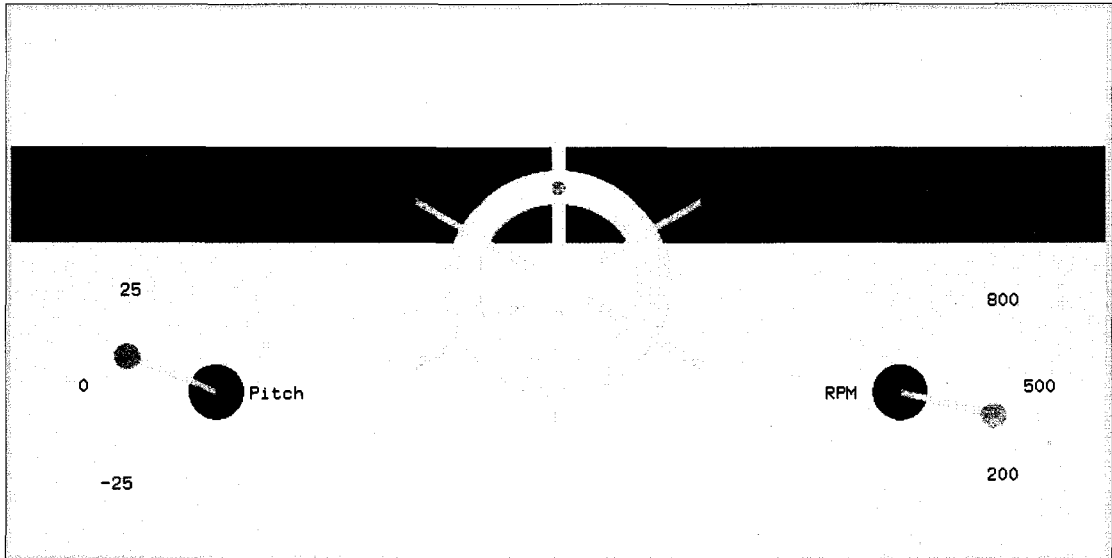


<그림 57> 어선조종 관련 조타기와 주기의 RPM 및 스크류의 가변피치 조절기.

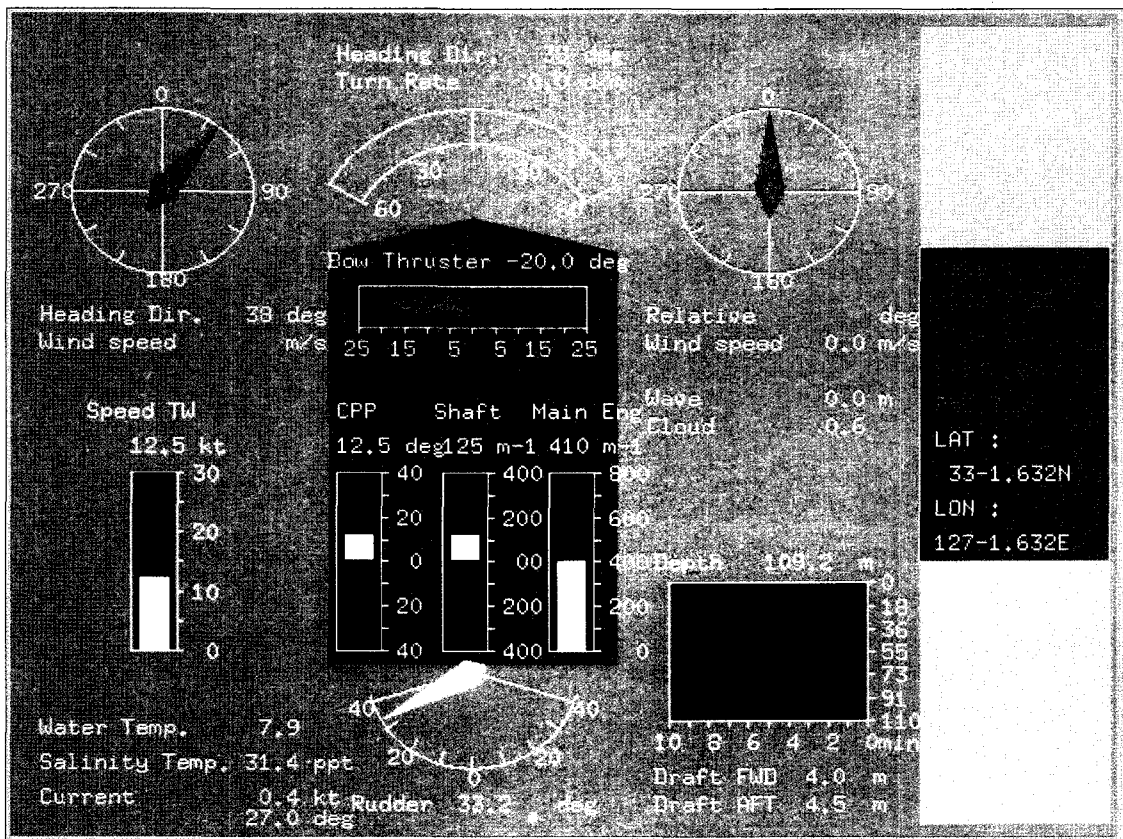


<그림 58> 브리지 모니터 디스플레이.

또한 브리지모니터로 전달되는 시간과 위도, 경도 등 위치에 관한 디지털정보를 전자해도의 RS-232C 단자로 통신하여 연결하면 본선의 위치를 바로 전자해도로 표시할 수도 있다.

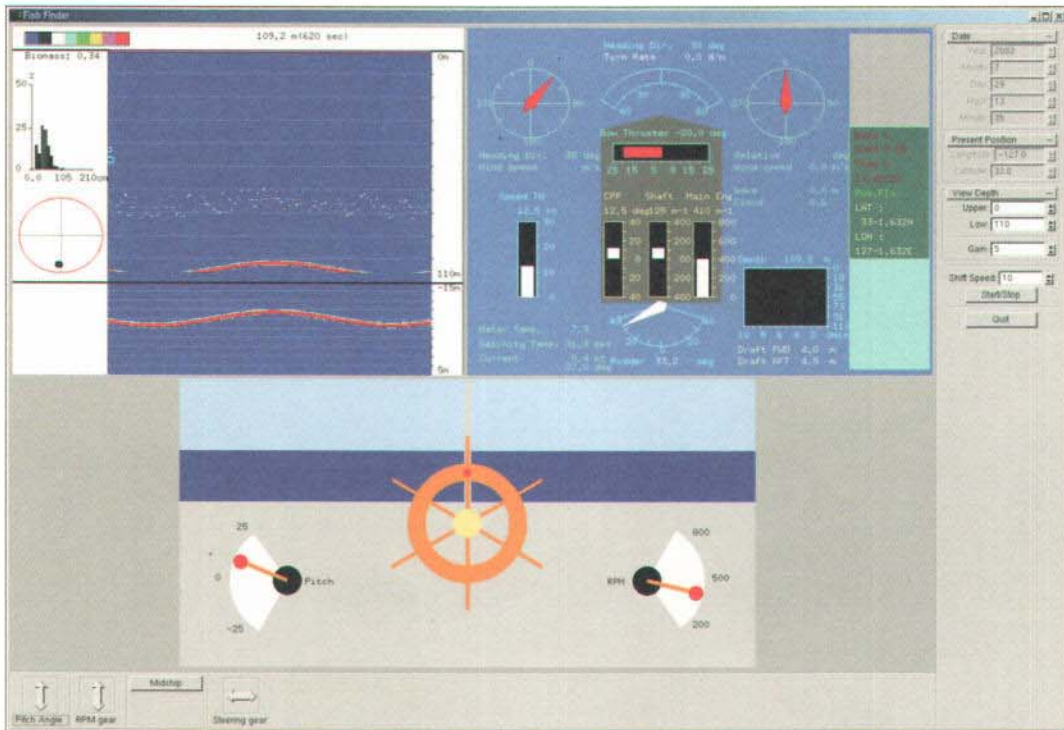


<그림 57> 어선조종 관련 조타기와 주기의 RPM 및 스크류의 가변피치 조절기.



<그림 58> 브리지 모니터 디스플레이.

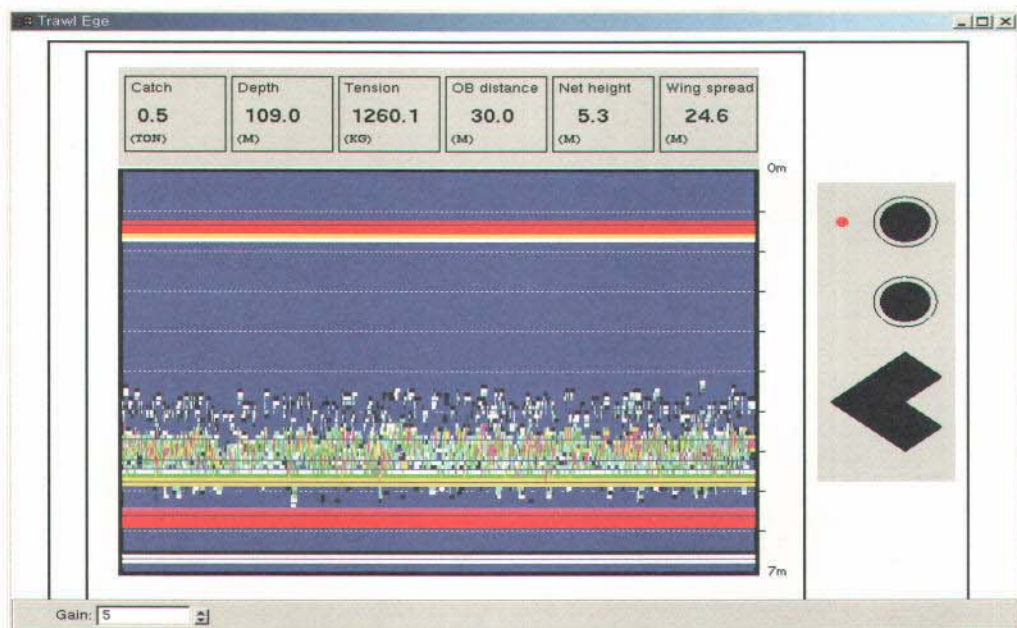
또한 브리지모니터로 전달되는 시간과 위도, 경도 등 위치에 관한 디지털정보를 전자해도의 RS-232C 단자로 통신하여 연결하면 본선의 위치를 바로 전자해도로 표시할 수도 있다.



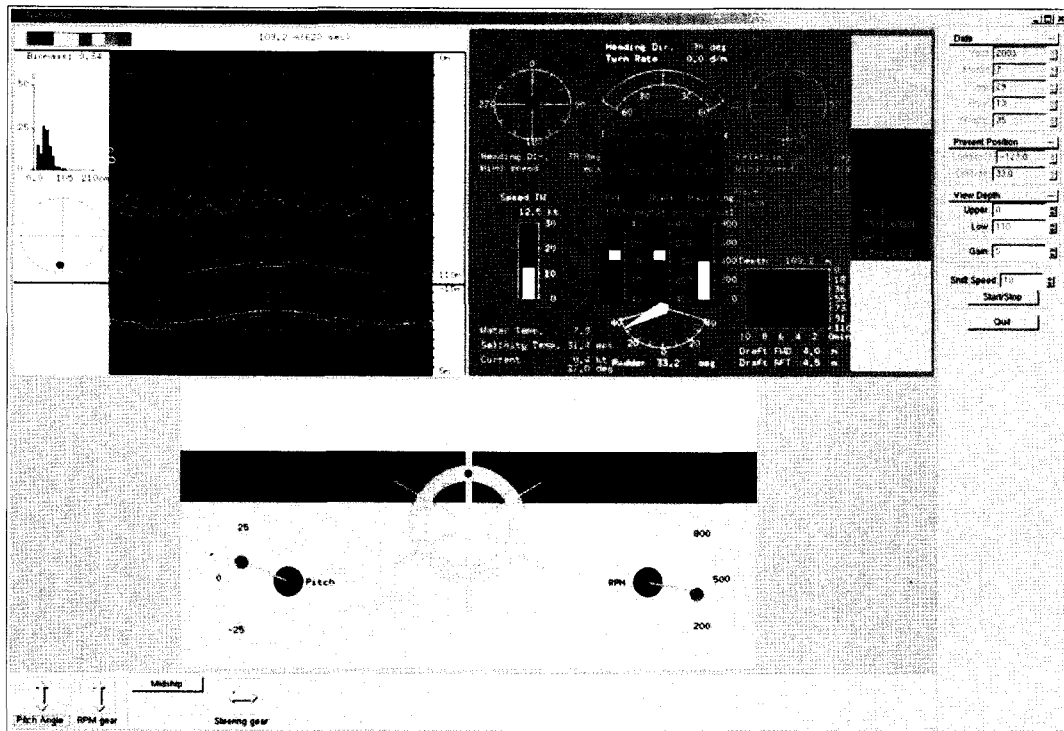
<그림 59> 어선조종, 브리지모니터, 어탐의 어탐운항 멀티뷰 화면의 예.

3. 어망 감시기 (Trawl Eye) 디스플레이

기존 네트레코더를 대체하는 신형 어망감시기인 Trawl Eye(Simrad, TE40)의 망구 어군입망 상황의 디스플레이는 앞의 어탐 정보화면 처리와 같은 알고리즘으로 <그림 60>과 같이 구현하였다.



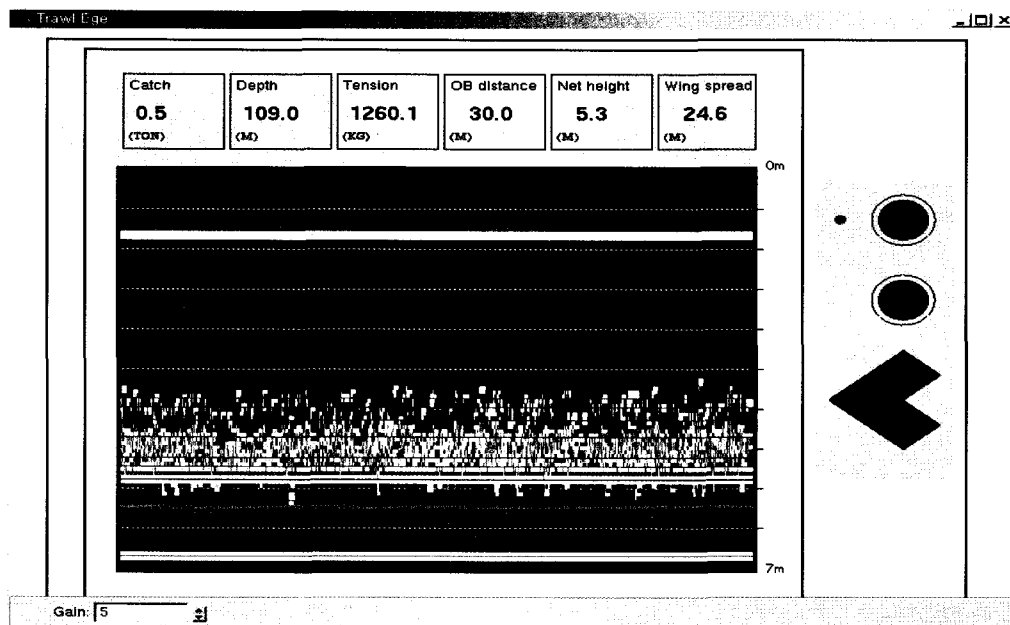
<그림 60> 어망감시기 Trawl Eye 디스플레이.



<그림 59> 어선조종, 브리지모니터, 어탐의 어탐운항 멀티뷰 화면의 예.

3. 어망 감시기 (Trawl Eye) 디스플레이

기존 네트레코더를 대체하는 신형 어망감시기인 Trawl Eye(Simrad, TE40)의 망구 어군입망 상황의 디스플레이는 앞의 어탐 정보화면 처리와 같은 알고리즘으로 <그림 60>과 같이 구현하였다.



<그림 60> 어망감시기 Trawl Eye 디스플레이.

망고부근의 상하부 수심조절 및 화면 수평이동속도 등은 오른쪽 버튼을 사용하여 조절할 수 있으며, 이득(Gain) 조절은 화면 하단에서 가능하도록 구현하였다. 그외에 어구계측 정보인 어구의 전개 등에 관한 전개판 간격, 망고, 날개간격, 끌줄장력 등은 어구형상 데이터로부터 실시간으로 디스플레이하였다.

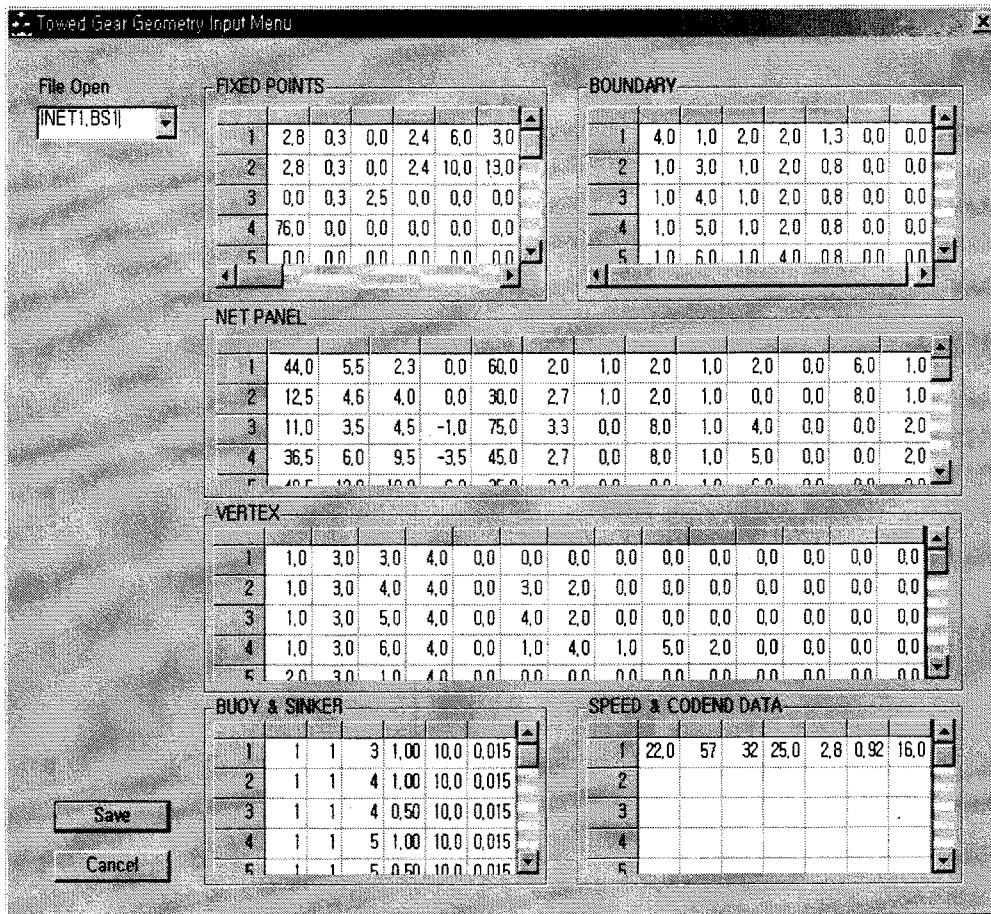
제 3 절 예망 어구의 3차원 수중 형상 디스플레이

1. 데이터 압축 처리 및 통신

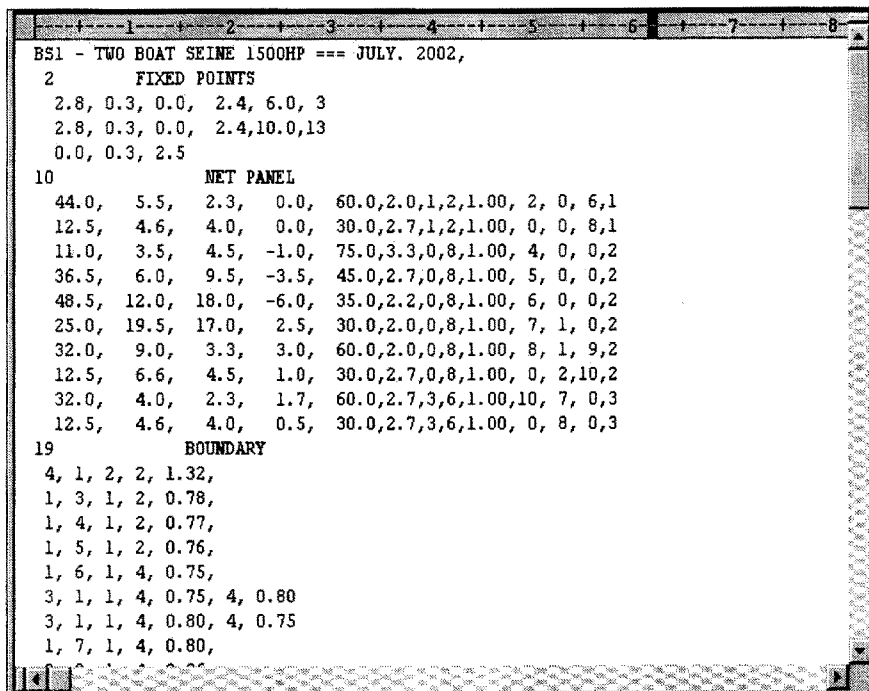
본 연구에서 구축된 베어울프 시스템을 사용한 예망어업 모델의 시뮬레이션시간이 실제 예망 어로작업과 같은 실시간으로 구현될 정도로 빠르지 않으므로 수중 예망현상의 그래픽 애니메이션은 계산이 끝난 후 결과 데이터를 가지고 그래픽 처리하였다. 따라서 사용자의 편리성과 기존 시스템의 호환성을 위하여 그래픽 처리는 별도의 윈도우 기반의 클라이언트에서 행해지므로 클러스터 시스템의 작업노드와 클라이언트간에 정보 교류가 이루어져야 한다. 대량의 정보를 실시간으로 통신 (Schaufler & Stuerzlinger, 1996)하기 위해서는 클러스터 시스템에 일정한 버퍼 공간을 확보하고 일정 타임 슬라이스 단위로 클라이언트에 정보를 송신한다. 이는 예망작업 시간 1시간(3600초) 동안에 2천미 정도의 어군이 어구에 조우하여 어획과정을 시뮬레이션 하는 경우를 기준으로 했을 때 평균 100Mb 이상의 방대한 자료를 생성하므로 메모리의 낭비와 통신의 신속성을 위해서는 불가피한 단계이다. 클라이언트는 전송 받은 데이터를 실시간으로 그래픽 처리 루틴에 이양하여 디스플레이를 구현하였다. 이때 버퍼 공간의 낭비를 막기 위해 정보는 압축되어 저장되고 클라이언트에게 전송되어 진다.

2. 어구설계 규격 입력

예망어구의 수중형상 시뮬레이션 프로그램인 NETSIM (Ferro,1989)에 필요한 입력화일은 <그림 61>과 같은 메뉴를 작성하여 입력하도록 하였다. 주 입력내용은 그물판에 대한 그물콧수, 망사직경, 성형률, 그물면에 대한 정보, 그물판 모서리 연결 정보, 부력과 침강력에 관한 정보, 어포부 구성 정보 등을 입력하고 저장하여 시뮬레이션에 사용되도록 하였다. 구현은 단일 다이얼로그에서 입력받게 되는데, 사용자의 입력의 편리성을 도모하기 위하여 시트 입력방식을 이용하였다. 초기의 각 어구에 대한 데이터는 텍스트 방식으로 파일에 저장되어 있으며, 이를 로드하여 각 분류별로 그룹화 하는 과정을 거친 후 사용자화면에 디스플레이 하게 된다. 이때 사용자는 기존의 어구 정보를 수정할 수 있을 뿐만 아니라 추가, 삭제도 가능하게 만들어 재저장 할 수 있게 구현하였다. 초기 텍스트 방식의 파일은 아래 <그림 62>와 같다.



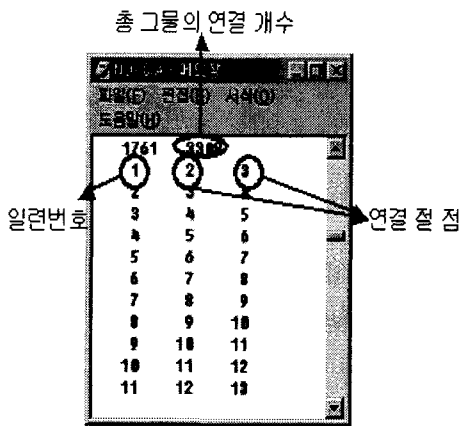
<그림 61> 어구형상 시뮬레이션을 위한 어구설계 입력 메뉴.



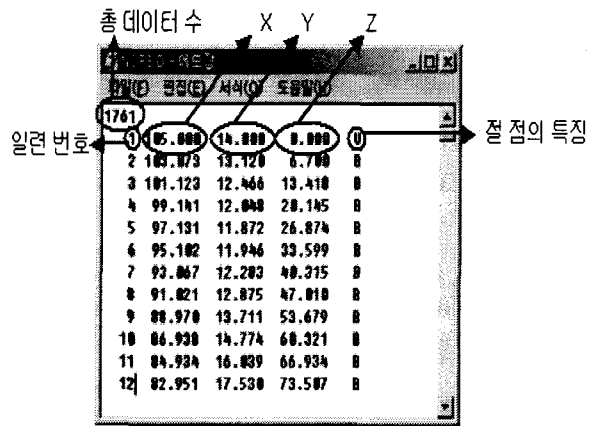
<그림 62> 예망어구의 수중형상 시뮬레이터를 위한 텍스트정보.

3. 어구의 3차원 수중 형상 그래픽

기존에 구현되었던 어구의 3차원 수중 형상 (김 등, 2000)은 어구 자체의 단일 형상의 구현에 지나지 않았다. 그러나 애니메이션에 적합하게 하기 위해서는 동적 기능을 포함해야 하며, 또한 수중 배경이나 주변 수중 물체들과의 접목이 연속적으로 이루어져야 하기 때문에, 2차원 평면 디스플레이 장치 상에서 3차원 기능이 수행되기 위해서는 어구의 구성에 필요한 3차원 좌표 데이터가 요구된다. 이것은 어구만의 단일 구현으로는 가능하지 않으며, 주변의 수중 환경과 연동시켜 구현해야 하므로 일반적인 그래픽 프로그래밍으로는 구현하기 어렵다.



<그림 63> 어구의 판 및 절 정보.



<그림 64> 어구의 3차원 절 좌표 정보.

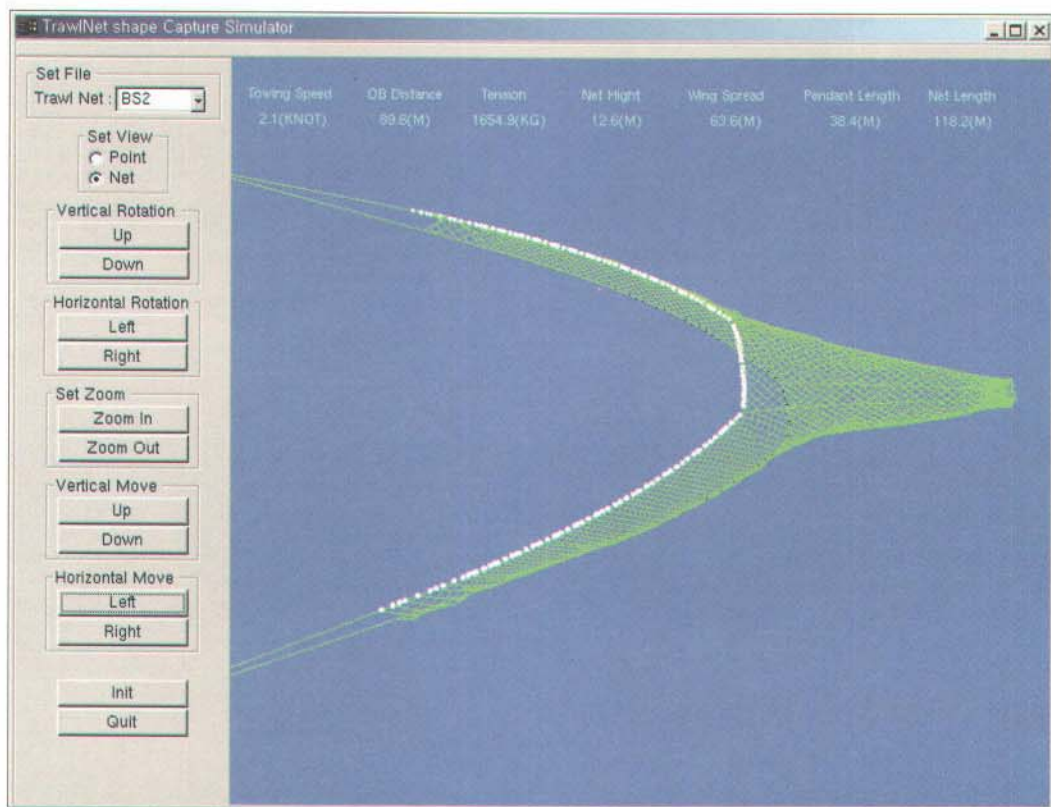
그러므로 본 연구에서는 먼저 예망어구 형상 시뮬레이션 결과 화일에서 어구를 형성하는 각 노드의 3차원 위치 정보를 적용하여 먼저 위치 정보를 기반으로 하여 어구 형상을 드로잉할 수 있는 도구인 Open GL 로 구현하고, 이동, 위치 변경, 크기 변경, 뷰 관점 변경, 회전과 같은 고유의 기능은 C 루틴의 접목으로 구현되었다. 아울러, 사용자가 직접 어구를 조정할 수 있는 부가적인 인터페이스를 두었다. <그림 63>은 어구의 판 및 절 점에 관한 정보이며, <그림 64>는 예망 어구의 각 절점에 대한 3차원 좌표 데이터와 절점의 특성을 나타내고 있다.

먼저, 어구의 3차원 절점 좌표를 일정 배열에 로드한 후에, 어구의 절점 연결 정보를 이용하여 각 절을 연결한다. 이때 절점 정보는 실제 어구의 절반에 해당하는 정보만을 가지고 있는데, 이는 어구의 형상이 좌우대칭이기 때문에 한 면의 좌표 정보만 있어도 표현가능하기 때문이다. 이때, 배열 position은 X, Y, Z 세 축의 좌표정보를 가지고 있는 구조체 영역이며, 배열 index는 각 절 좌표의 연결정보를 가지고 있는 구조체 영역이다. 이렇게 형성된 그물코 형태가 표현되는 어구의 형상은 아래의 <그림 65>와 같다.

그리고 어구형상 정보의 절점 좌표만을 점으로 나타내어 그물코의 다리가 연결되

기 전의 절점들만의 디스플레이 상태를 확인해 볼 수 있는 부가기능도 가능하다. 어구 형상 디스플레이에서 좌측에 있는 메뉴들이 사용자를 위한 인터페이스 도구들이다. 여기에는 각 어구의 종류, 각 축의 회전 각도, 축의 이동 거리, 어구 형상의 확대 및 축소 기능들이 포함되어 있다. 축의 회전 각도는 어구의 좌측측면에서 전방으로 90도까지와 좌측측면에서 천정망 쪽 상방으로 90도까지 각각 독립적으로 회전, 지정할 수 있고, 확대비율은 최고 300%, 축소비율은 50% 까지 지정할 수 있다. 그리고 Set View panel에서는 절 좌표만을 볼 수 있는 기능을 선택할 수 있다.

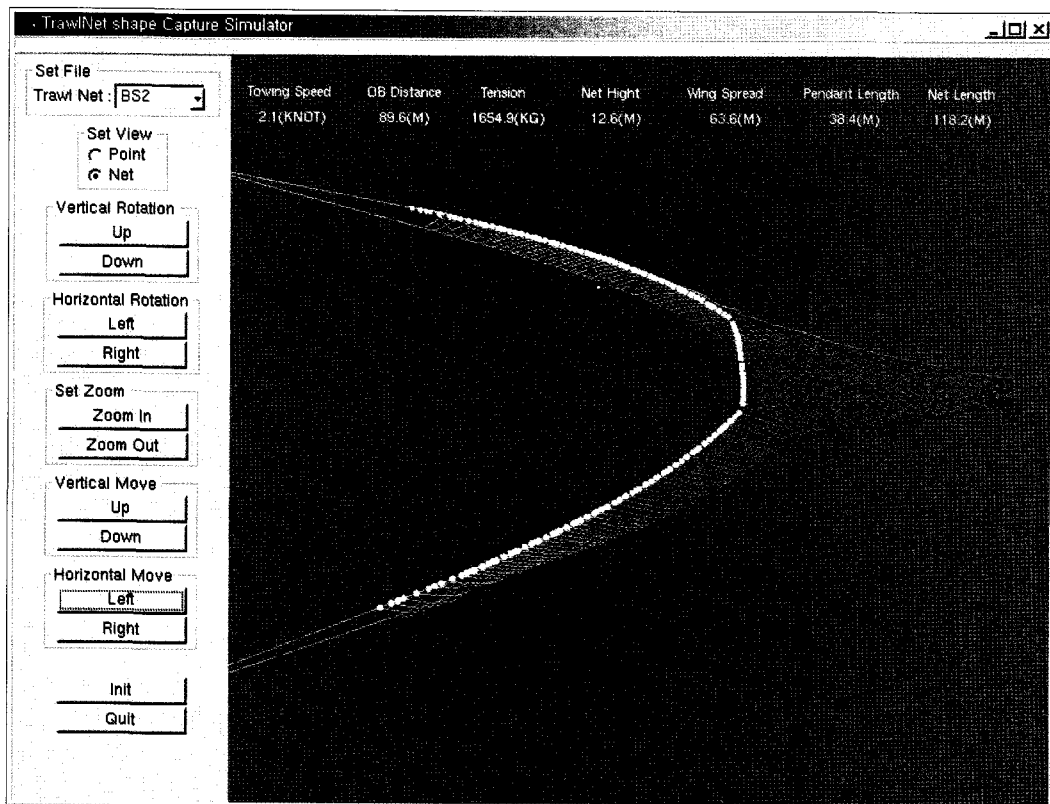
또한 어구규격이나 예망조건 등에 다른 어구의 형상변화를 3차원적으로 비교해 볼 수 있도록 <그림 66>과 같이 구성하였다. 메뉴에서 어구형상 표시 화일 수를 1개에서 3개까지 선택하여 불러오면 한 화면에서 최대 3개까지의 어구형상을 도시하고, 각 어구형상 별로 색깔을 달리하여 시각적으로 비교해 볼 수 있도록 하였다. 아울러 망고, 망폭, 저항 등 주요 형상요인을 숫자로 동시에 도시하여 그 차이를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다.



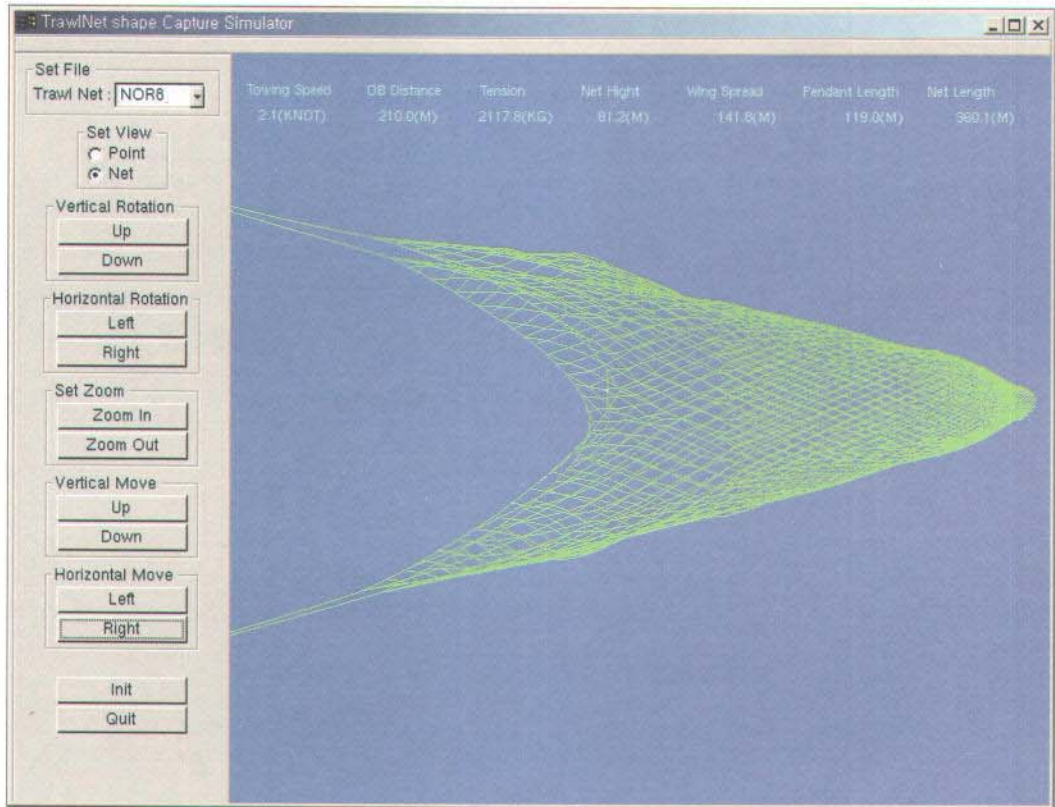
<그림 65-1> 어구의 3차원 수중형상 (쌍끌이 기선저인망)

기 전의 절점들만의 디스플레이 상태를 확인해 볼 수 있는 부가기능도 가능하다. 어구 형상 디스플레이에서 좌측에 있는 메뉴들이 사용자를 위한 인터페이스 도구들이다. 여기에는 각 어구의 종류, 각 축의 회전 각도, 축의 이동 거리, 어구 형상의 확대 및 축소 기능들이 포함되어 있다. 축의 회전 각도는 어구의 좌측측면에서 전방으로 90도까지와 좌측측면에서 천정망 쪽 상방으로 90도까지 각각 독립적으로 회전, 지정할 수 있고, 확대비율은 최고 300%, 축소비율은 50% 까지 지정할 수 있다. 그리고 Set View panel에서는 절 좌표만을 볼 수 있는 기능을 선택할 수 있다.

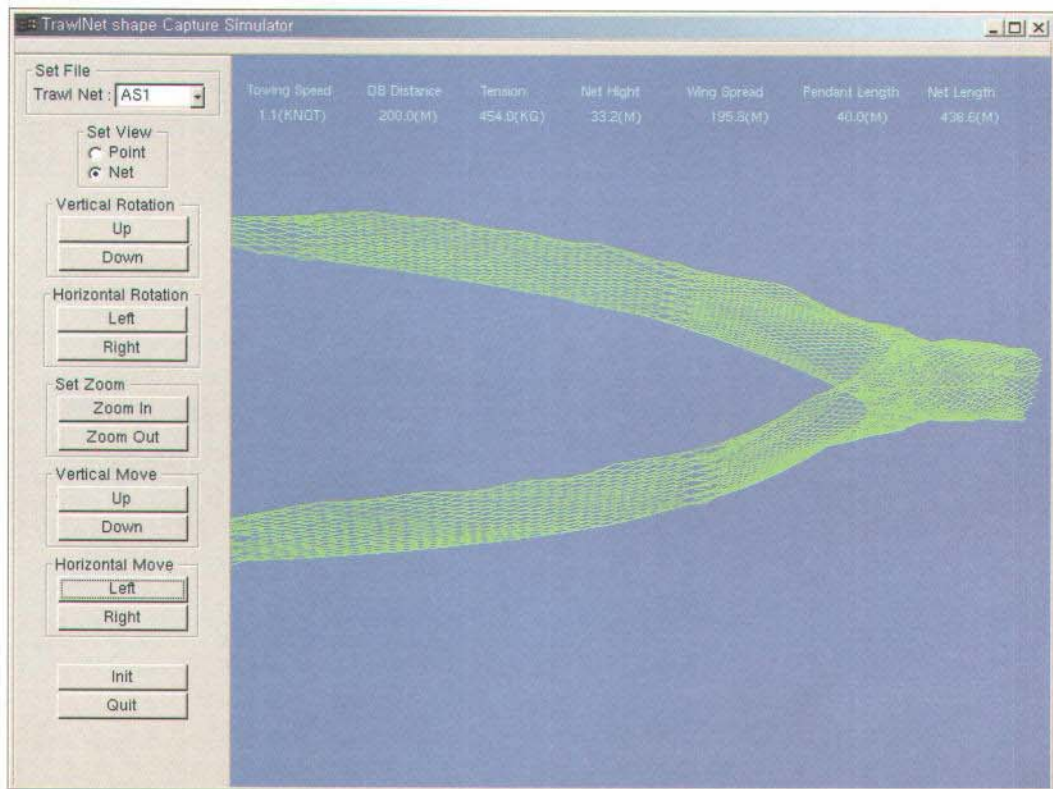
또한 어구규격이나 예망조건 등에 다른 어구의 형상변화를 3차원적으로 비교해 볼 수 있도록 <그림 66>과 같이 구성하였다. 메뉴에서 어구형상 표시 화일 수를 1개에서 3개까지 선택하여 불러오면 한 화면에서 최대 3개까지의 어구형상을 도시하고, 각 어구형상 별로 색깔을 달리하여 시각적으로 비교해 볼 수 있도록 하였다. 아울러 망고, 망폭, 저항 등 주요 형상요인을 숫자로 동시에 도시하여 그 차이를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다.



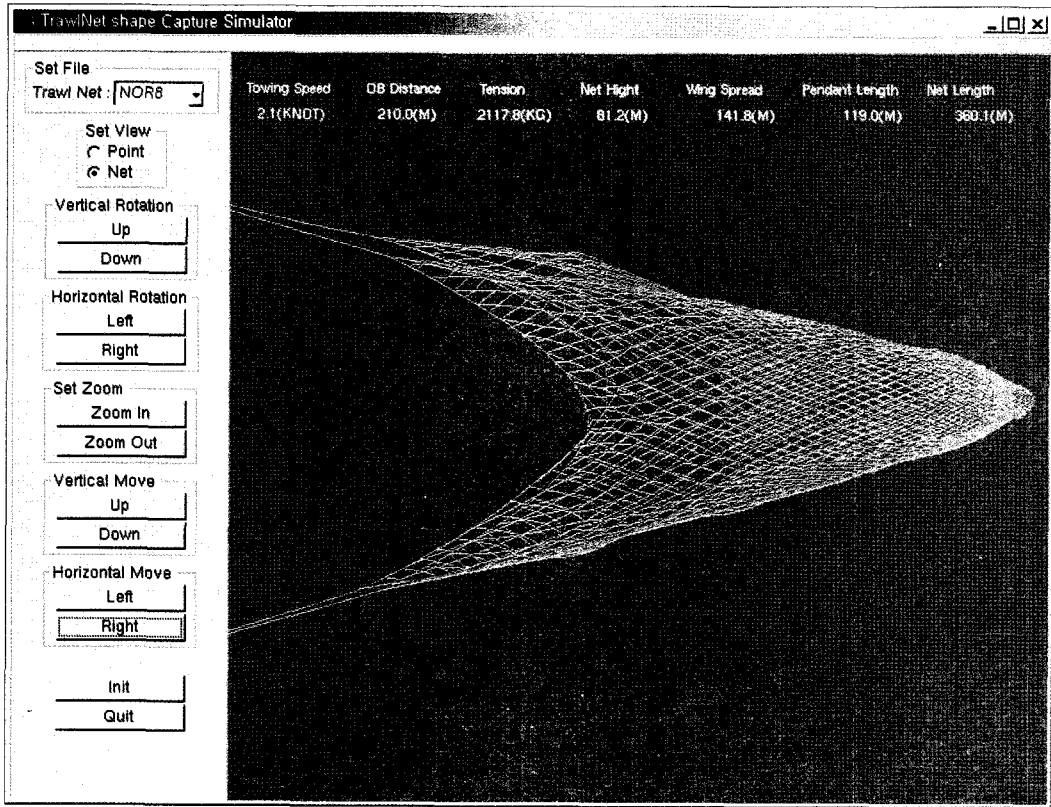
<그림 65-1> 어구의 3차원 수중형상 (쌍끌이 기선저인망)



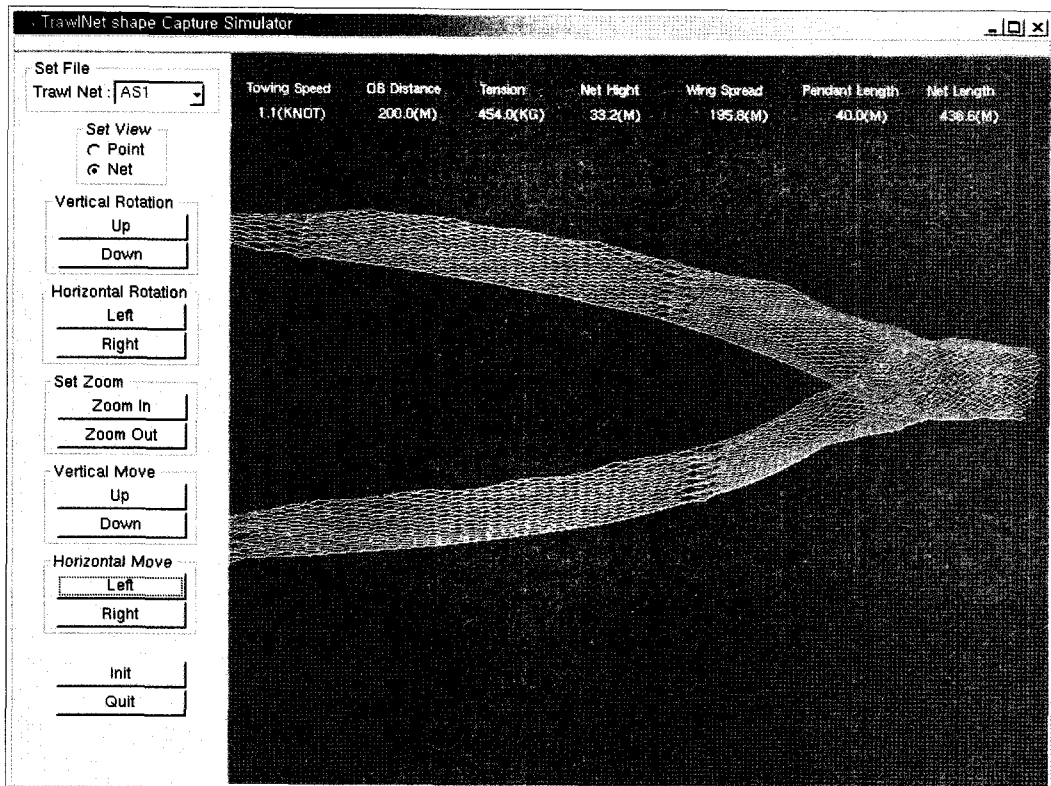
<그림 65-2> 어구의 3차원 수중형상 (중층트롤)



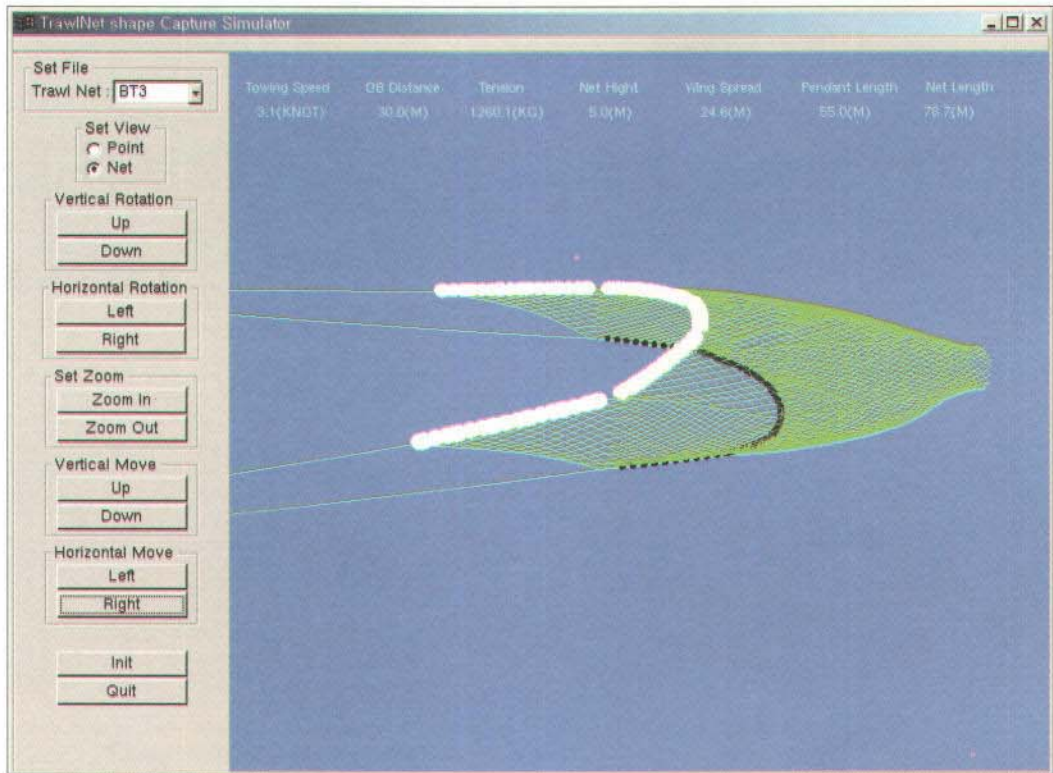
<그림 65-3> 어구의 3차원 수중형상 (기선권현망)



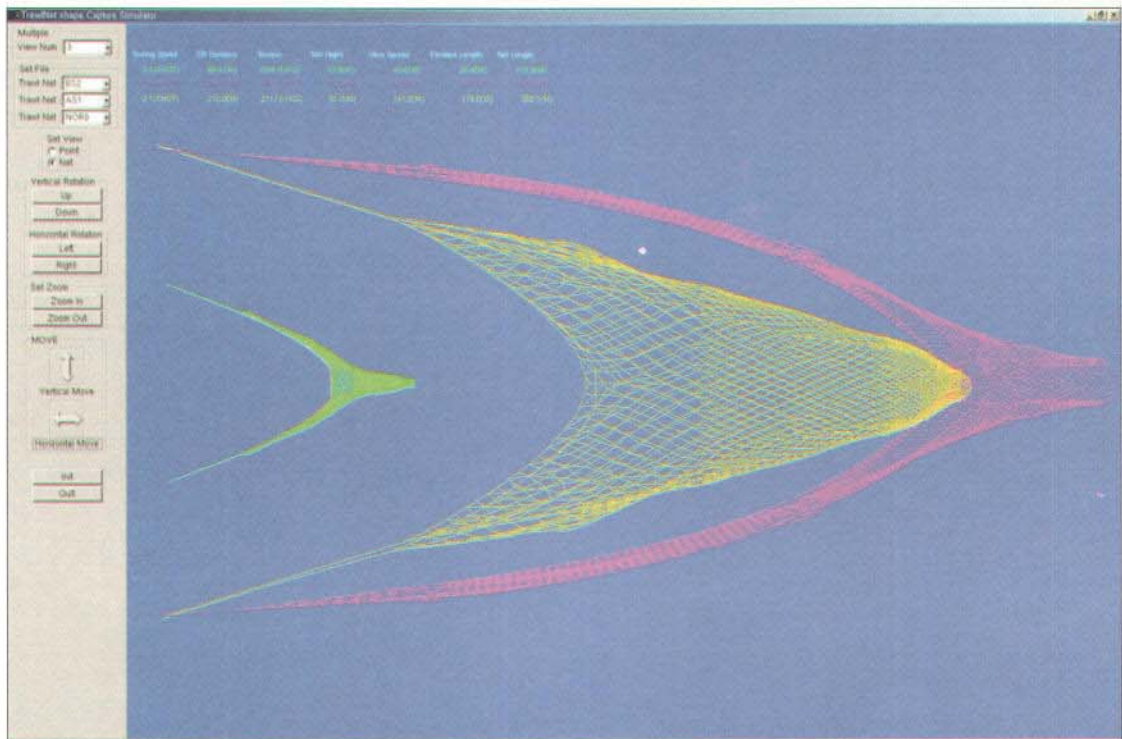
<그림 65-2> 어구의 3차원 수중형상 (중층트롤)



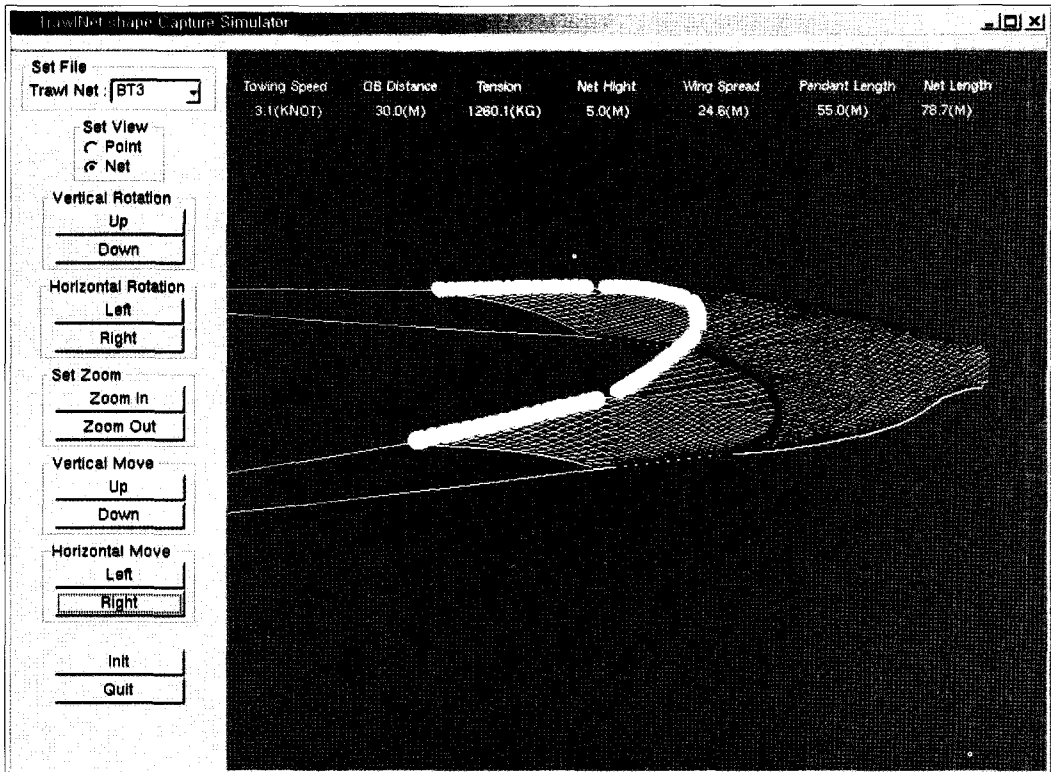
<그림 65-3> 어구의 3차원 수중형상 (기선권현망)



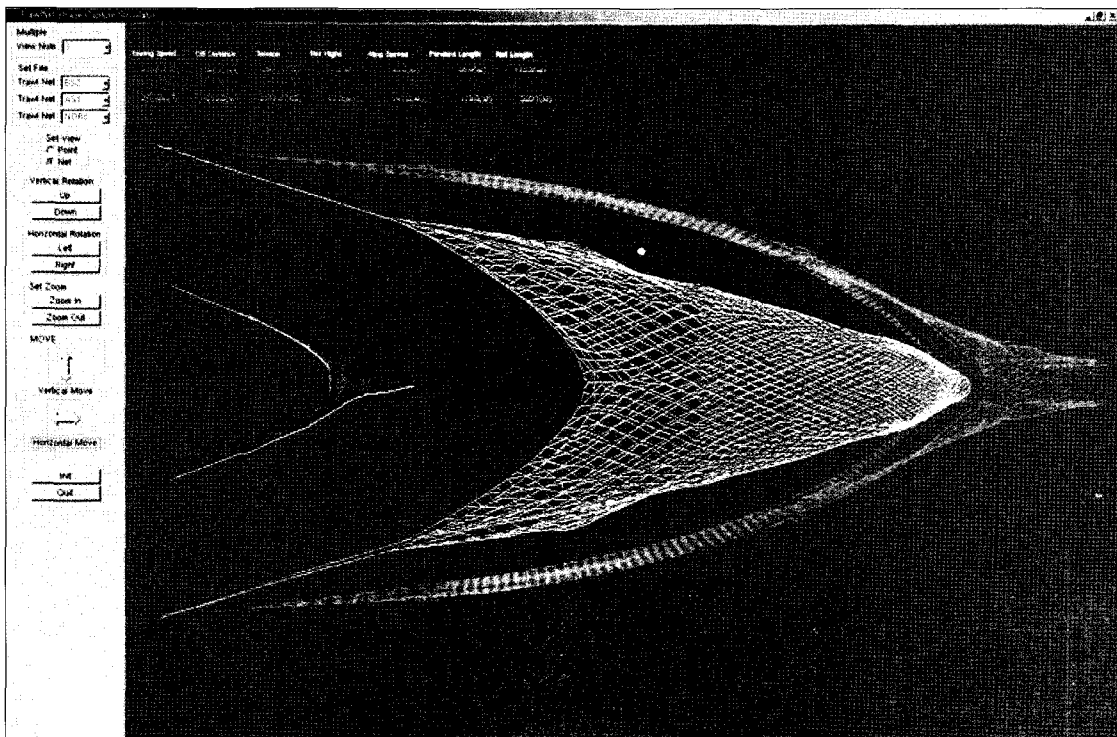
<그림 65-4> 어구의 3차원 수중형상 (저층 트롤)



<그림 66> 3가지 어구의 3차원 수중형상 동시 디스플레이 및 비교.



<그림 65-4> 어구의 3차원 수중형상 (저층 트롤)

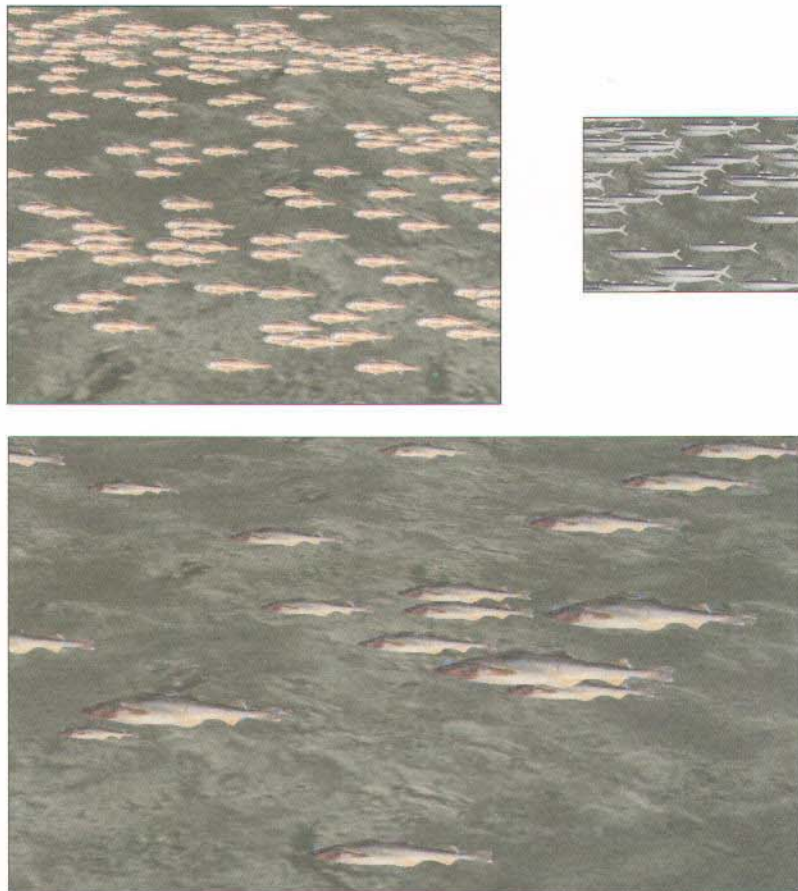


<그림 66> 3가지 어구의 3차원 수중형상 동시 디스플레이 및 비교.

제 4 절 어획과정의 3차원 수중 형상 그래픽

1. 어류의 형태 및 유영 디스플레이

4가지 주요 예망어업에서 주로 어획되는 어종들의 형태는 어류의 정지영상에서 실제 이미지를 일정한 구획으로 나누어 유영 모습이 디스플레이 되도록 구성하였다. 그 중 3가지 참조기와 멸치, 대구의 유영 형태를 보여 주는 예는 <그림 67>과 같다.



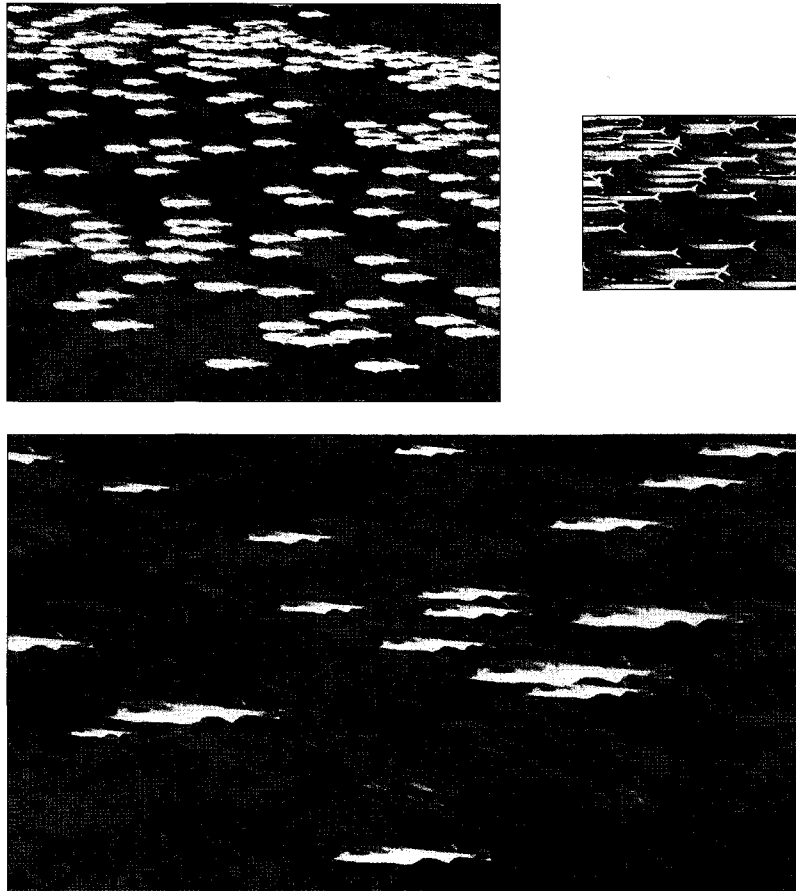
<그림 67> 어류의 형태 및 유영
(위 왼쪽은 참조기, 위 오른쪽은 멸치, 아래는 대구).

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 느려지게 하면서 텍스처 과정을 복잡하게 야기하므로 단순히 랜덤한 변화로 구현하였다. 어류의 크기는 어류 생성정보에서 참조할 수 있지만 넓은 뷰에서 크기의 변화가 극히 미세하므로 식별하기가 어렵다. <그림 67>에서 각 어류의 크기의 차이를 볼 수 있는 것은 3차원 좌표상의 개체이기 때문에 Z축의 차

제 4 절 어획과정의 3차원 수중 형상 그래픽

1. 어류의 형태 및 유영 디스플레이

4가지 주요 예망어업에서 주로 어획되는 어종들의 형태는 어류의 정지영상에서 실제 이미지를 일정한 구획으로 나누어 유영 모습이 디스플레이 되도록 구성하였다. 그 중 3가지 참조기와 멸치, 대구의 유영 형태를 보여 주는 예는 <그림 67>과 같다.



<그림 67> 어류의 형태 및 유영
(위 왼쪽은 참조기, 위 오른쪽은 멸치, 아래는 대구).

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 느려지게 하면서 텍스처 과정을 복잡하게 야기하므로 단순히 랜덤한 변화로 구현하였다. 어류의 크기는 어류 생성정보에서 참조할 수 있지만 넓은 뷰에서 크기의 변화가 극히 미세하므로 식별하기가 어렵다. <그림 67>에서 각 어류의 크기의 차이를 볼 수 있는 것은 3차원 좌표상의 개체이기 때문에 Z축의 차

이에 따라 동일한 크기의 어류가 다른 크기처럼 보여짐을 알 수 있다. 그러므로 별도의 크기변화는 어류 형태 디스플레이에서 생략하였다.

2. 어획과정의 애니메이션

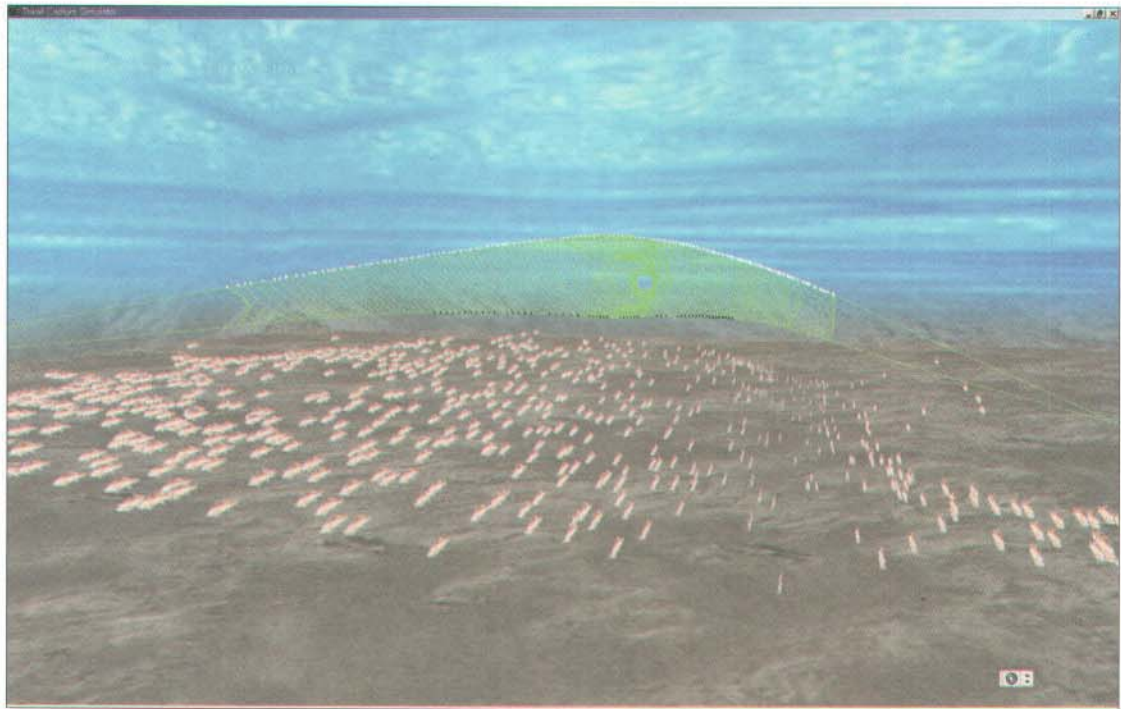
어류 행동 및 어획 모델로부터 시뮬레이션으로 계산된 결과 전송되어 오는 시간대별 어류의 3차원 이동좌표와 어업 계측 정보를 기반으로 하여 수중에서의 어류 이동을 3차원 실시간으로 구현하였다. 어업 계측 정보는 <그림 68>과 같이 실시간 데이터, 어류의 행동 실시간 3차원 좌표 등의 정보를 적용하였다.

시간	고기 번호	X	Z	Y	
0.5	1	62.13	-15.25	74.12	25.2
0.5	2	74.51	-15.25	67.63	116.9
0.5	3	52.86	-15.25	39.95	308.3
0.5	4	27.33	-15.25	45.91	68.8
0.5	5	-54.94	-15.25	33.46	48.8
0.5	6	-94.46	-15.18	4.78	334.2
0.5	7	35.22	-15.25	53.71	339.3
0.5	8	42.87	-15.15	23.54	272.9
0.5	9	48.94	-15.25	33.62	48.4
0.5	10	-8.58	-15.25	66.88	8.7
0.5	11	11.98	-15.25	66.34	114.8
0.5	12	97.82	-14.88	19.27	268.6
0.5	13	-92.88	-15.25	66.21	113.7

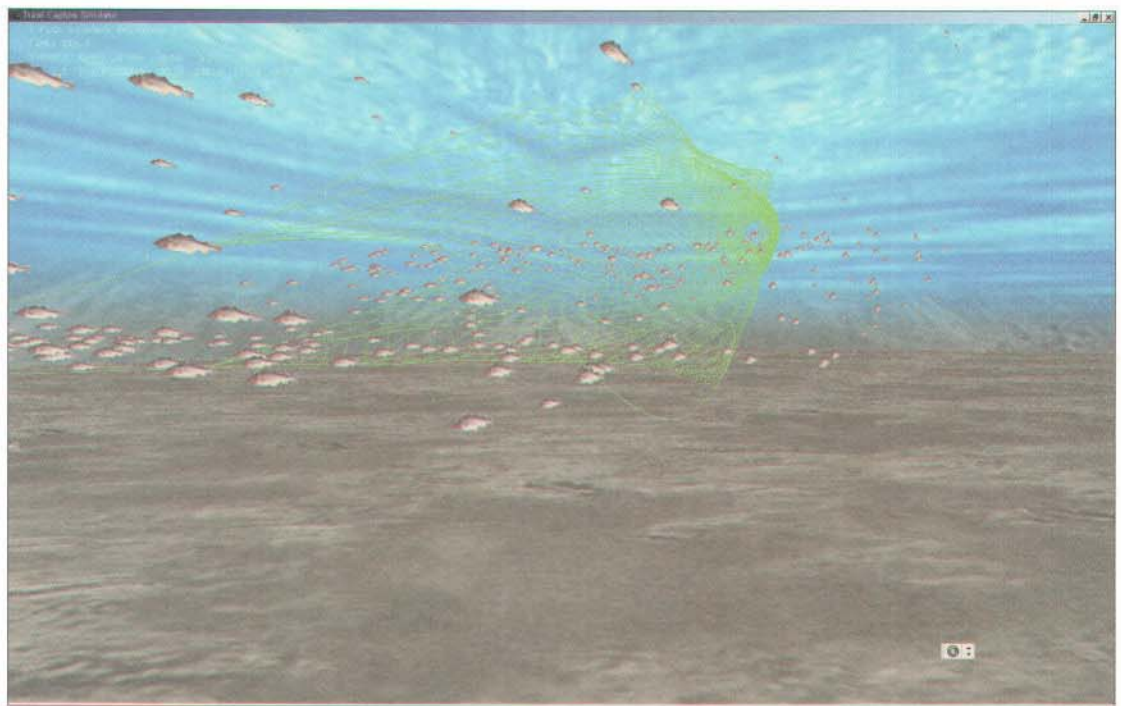
<그림 68> 어류유형 3차원 이동좌표의 실시간 데이터.

위의 어류 유형 3차원 이동좌표의 실시간 데이터를 적용하여 어류의 수중 이동 현상을 3차원 애니메이션으로 구현하였다. 클러스터 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.

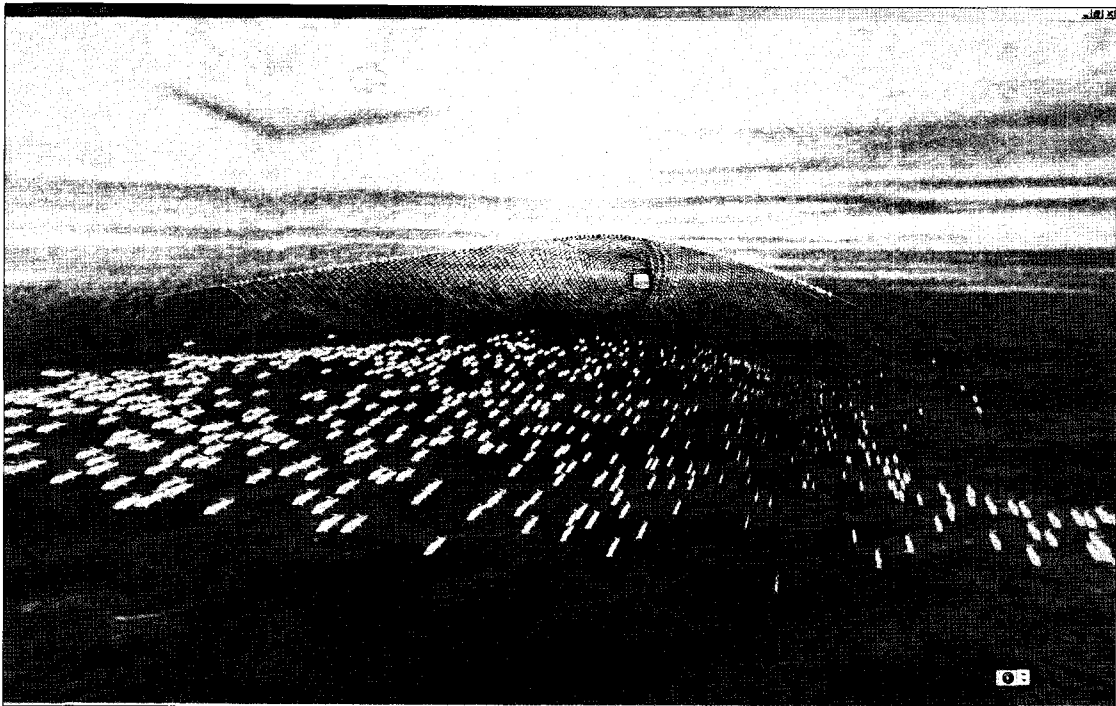
지금까지 구현한 예망어구의 수중 형상 디스플레이 결과와 어류 수중 행동 형상 디스플레이를 연동시켜서 예망어구 및 어류 행동의 3차원 수중 형상 애니메이션을 OpenGL과 C 루틴 프로그램으로 연동시켜 실시간 구현을 가능하게 하였다. 애니메이션을 실현할 때, 어류는 정지영상을 유형에 알맞게 벡터단위로 분할된 픽처 형상이며, 어구의 형상은 3차원 그래픽을 적용하였기 때문에 이들 간의 접촉에 있어서 3차원 공간 좌표의 충돌 현상을 해결하였다. 이렇게 생성된 실제 영상의 한 예는 쌍끌이 기선 저인망에 대한 어류의 유형 행동 애니메이션을 <그림 69>에 나타내었으며 현장 비디오 관찰결과 (Main & Sangster, 1981b)와 시각적으로 유사하게 보였다. 그외 중층 트롤에 대한 어류의 유형 행동 애니메이션은 <그림 70>과 같다.



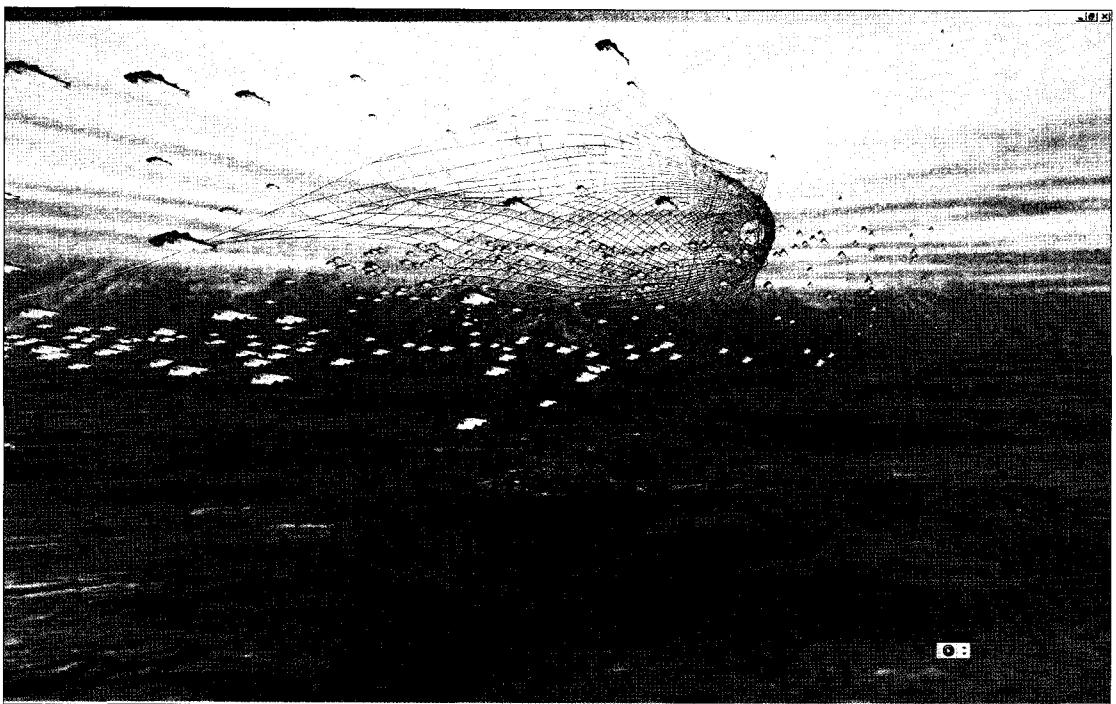
<그림 69> 쌍끌이 기선저인망에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션.



<그림 70> 중층 트롤에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션.



<그림 69> 쌍끌이 기선저인망에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션.



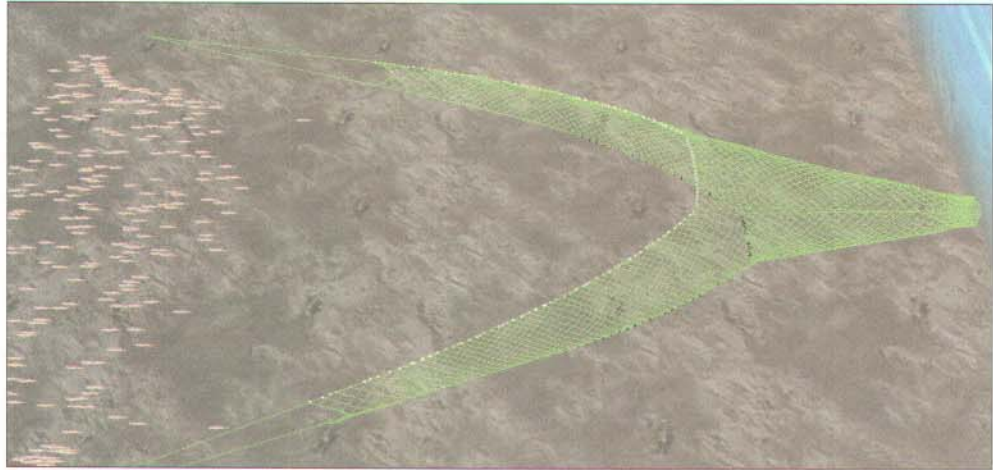
<그림 70> 중층 트롤에 대한 어류의 유영 행동 애니메이션.

어류 데이터는 실시간으로 배어울프 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.

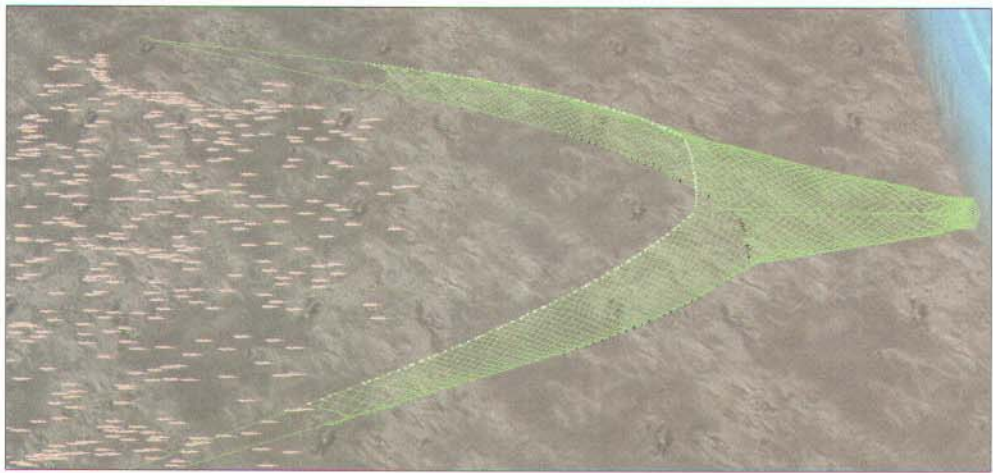
시뮬레이션 결과의 한 예로 쌍끌이 기선저인망에서의 참조기 반응행동 애니메이션을 어류가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간대별로 나타낸 결과는 <그림 71>과 같다. <그림 71>의 쌍끌이 기선저인망에 대한 애니메이션은 어구의 크기가 작아 결과로 보인 각 슬라이드의 경과시간 간격을 50초 단위로 보여 주고 있다. 이는 위에서 설명한 배어울프 시스템으로부터 어류 데이터를 전송 받아 애니메이션의 위한 각종 연산작업의 수행이 실제 어류 유영을 위한 시간적인 표현영역에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

기선권현망에서의 멸치의 반응행동 애니메이션을 어류가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간대별로 나타낸 결과는 <그림 72>와 같다. 여기서는 어류의 유영속도가 느리고 어구의 크기가 크므로 경과시간의 간격은 100초 단위로 보여주고 있다.

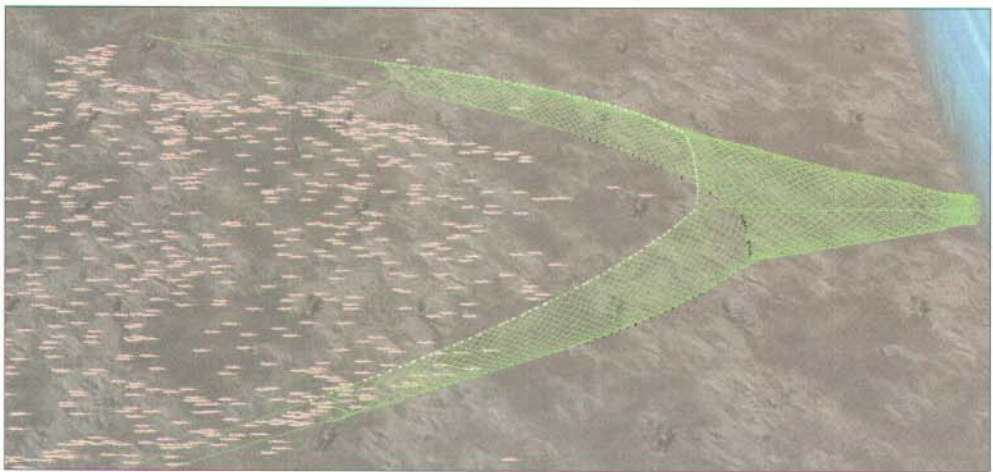
그외 중층트롤과 저층 트롤에서 명태의 어류이동 애니메이션은 <그림 73>와 <그림 74>와 같다.



(A) 100초 경과

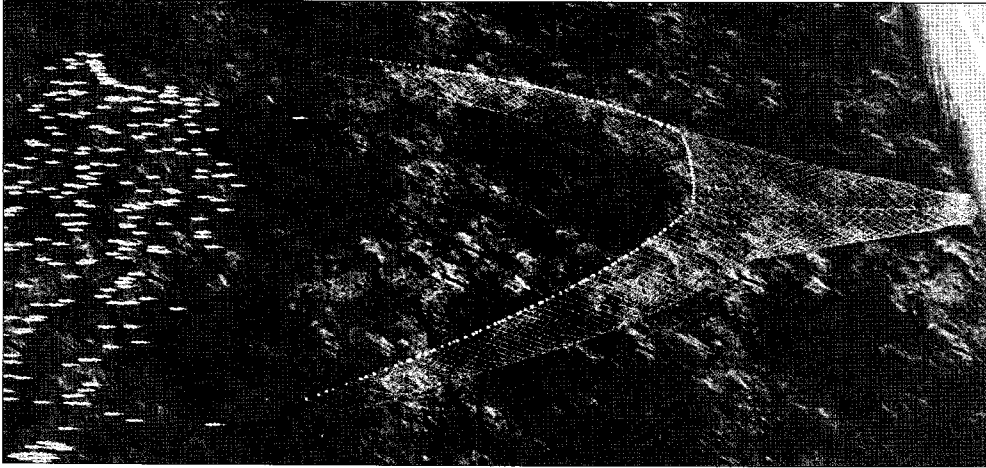


(B) 150초 경과

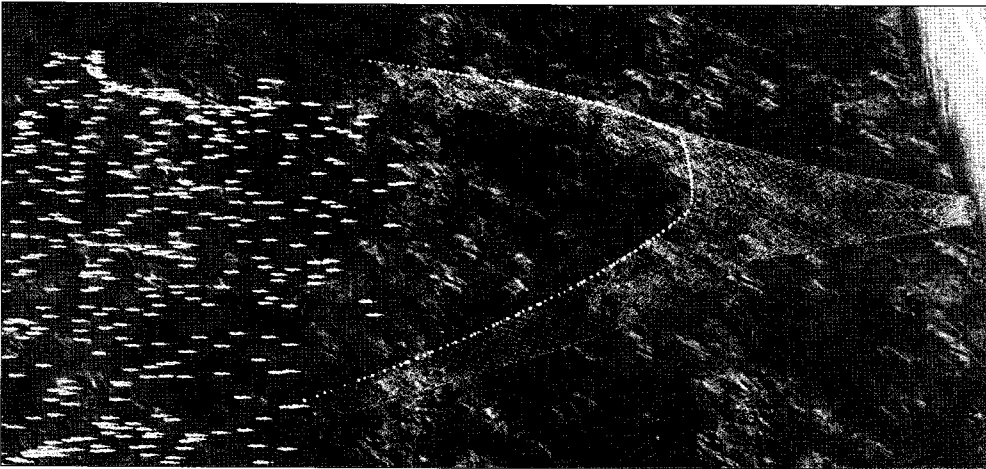


(C) 200초 경과

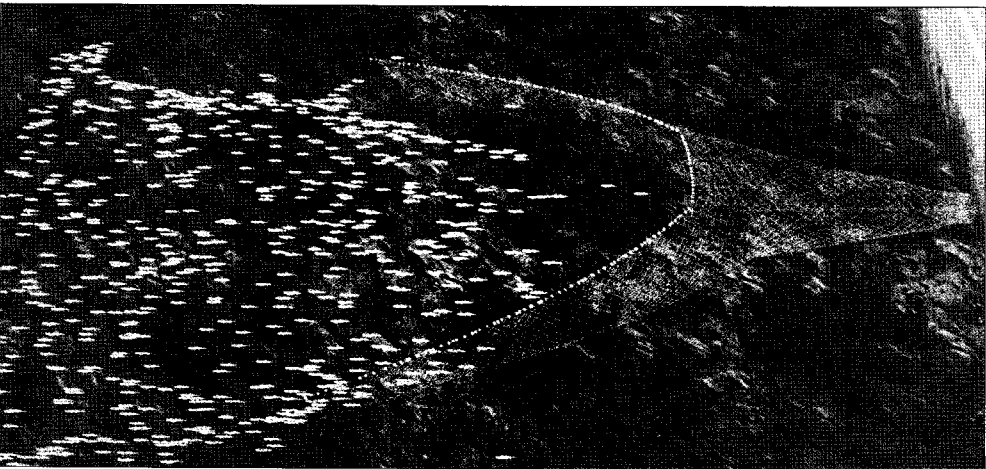
<그림 71> 쌍끌이 기선저인망에서의 참조기가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예



(A) 100초 경과

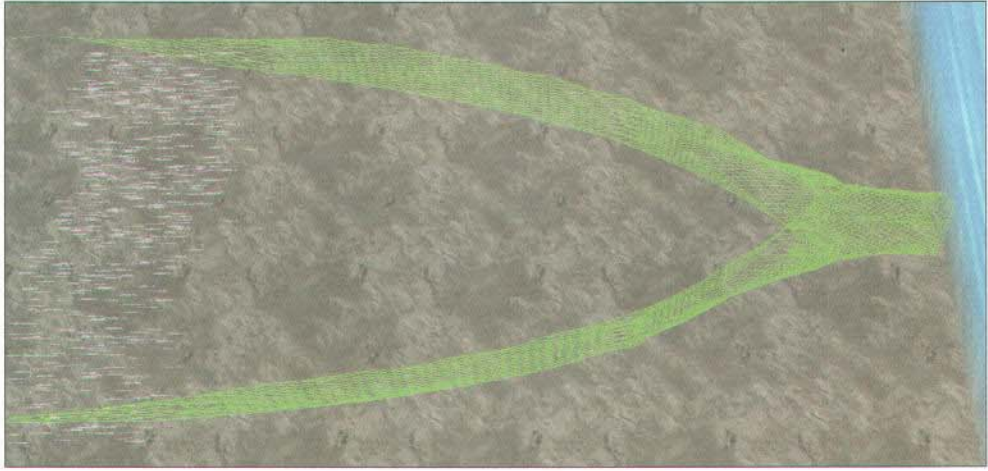


(B) 150초 경과

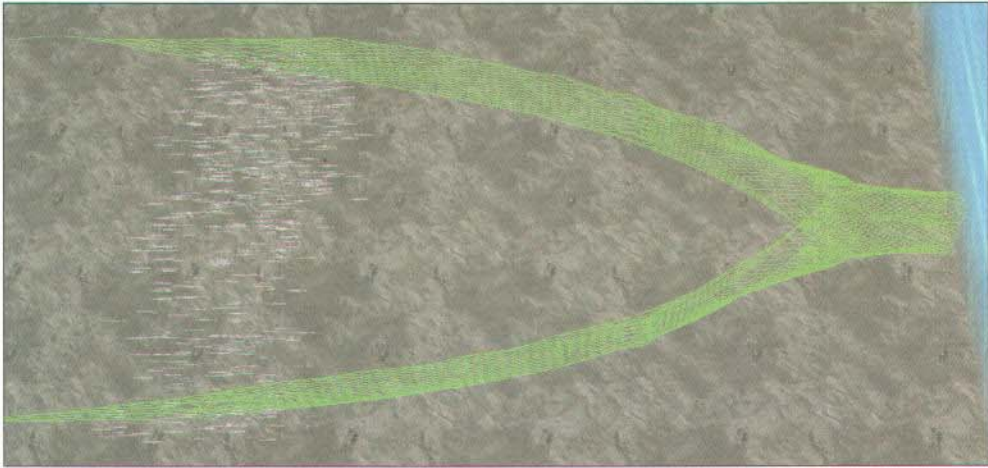


(C) 200초 경과

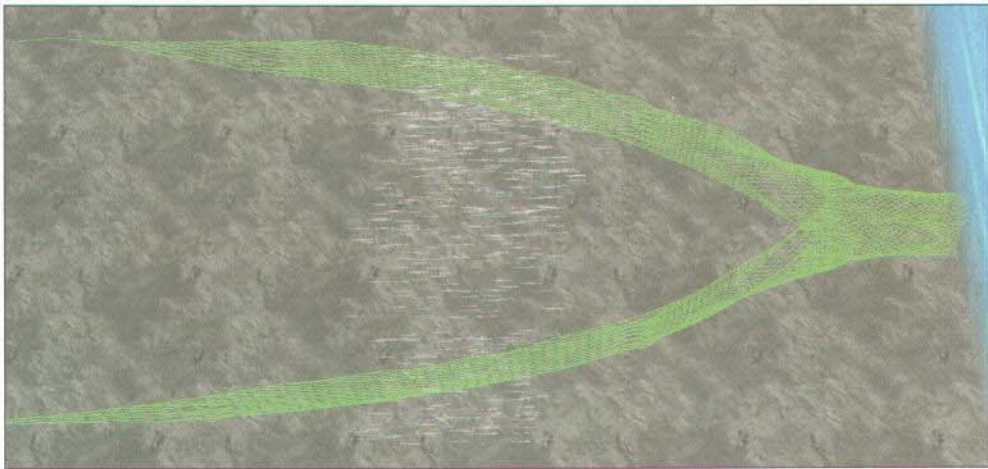
<그림 71> 쌍끝이 기선저인망에서의 참조기가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예



(A) 250초 경과

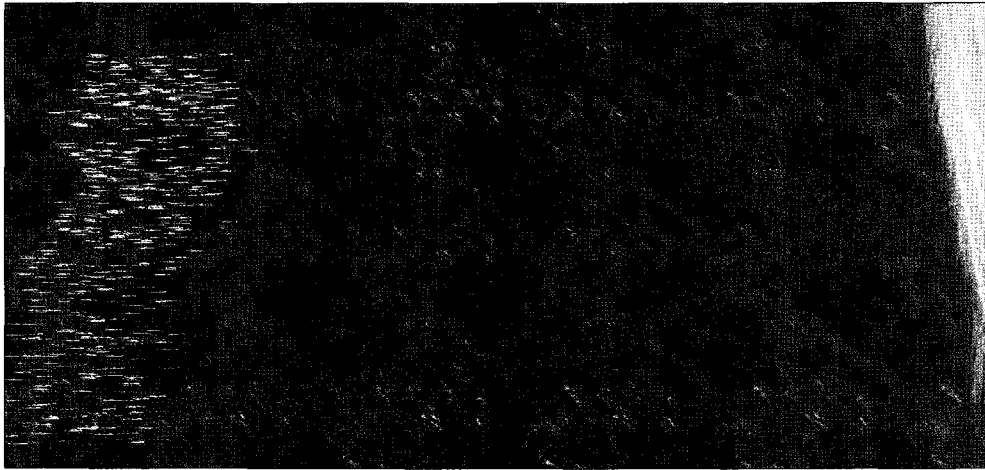


(B) 350초 경과

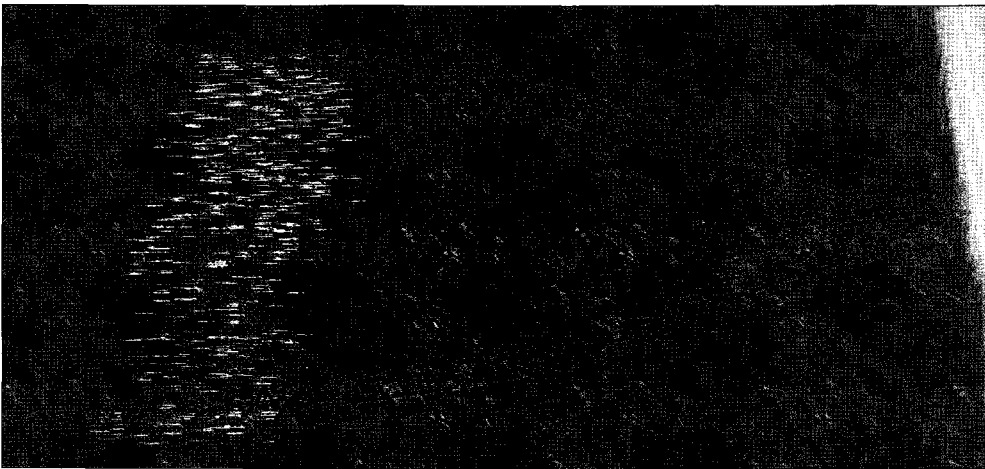


(C) 550초 경과

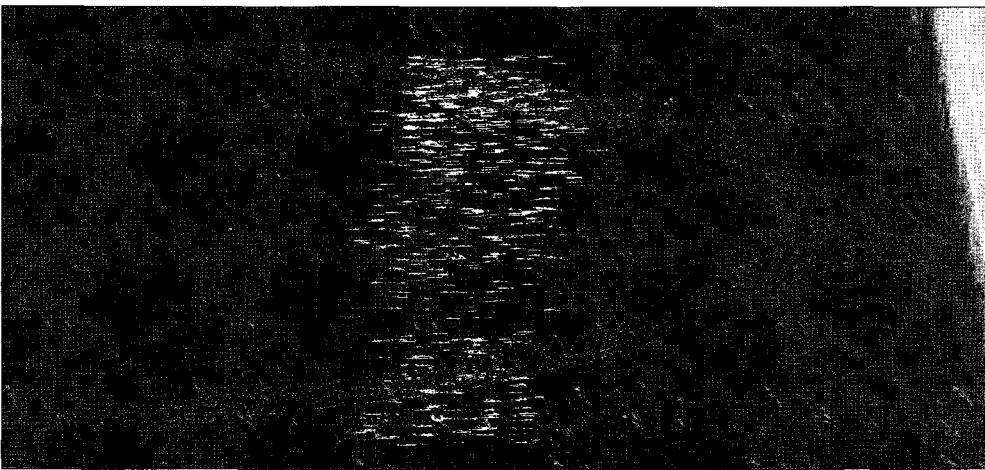
<그림 72> 기선권현망에서의 멸치가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예.



(A) 250초 경과

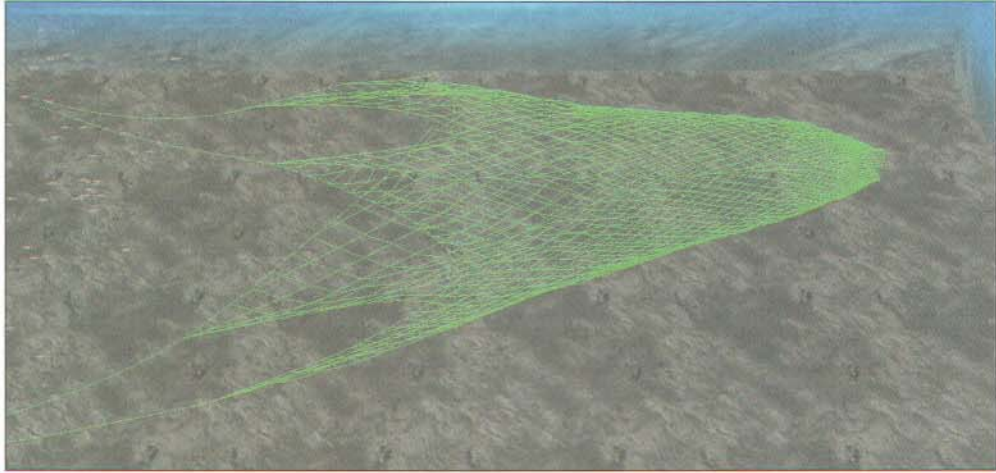


(B) 350초 경과

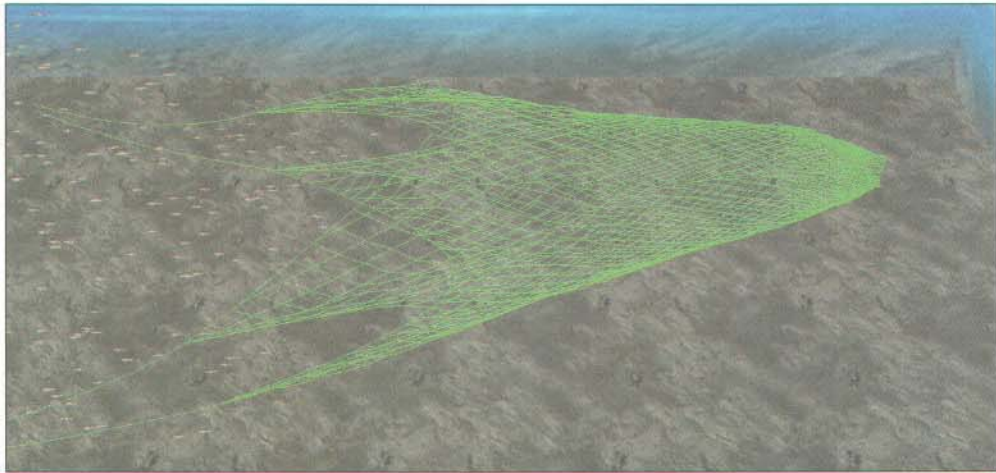


(C) 550초 경과

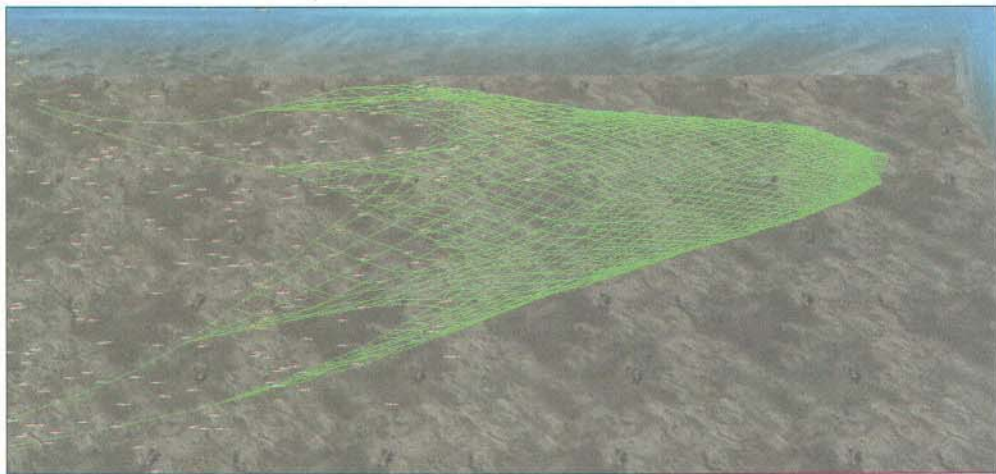
<그림 72> 기선권현망에서의 멸치가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예.



(A) 50초 경과

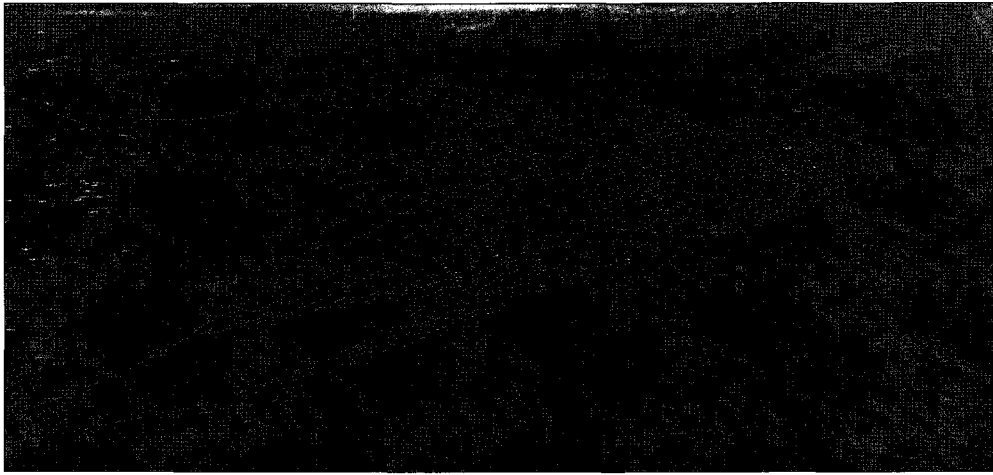


(B) 100초 경과

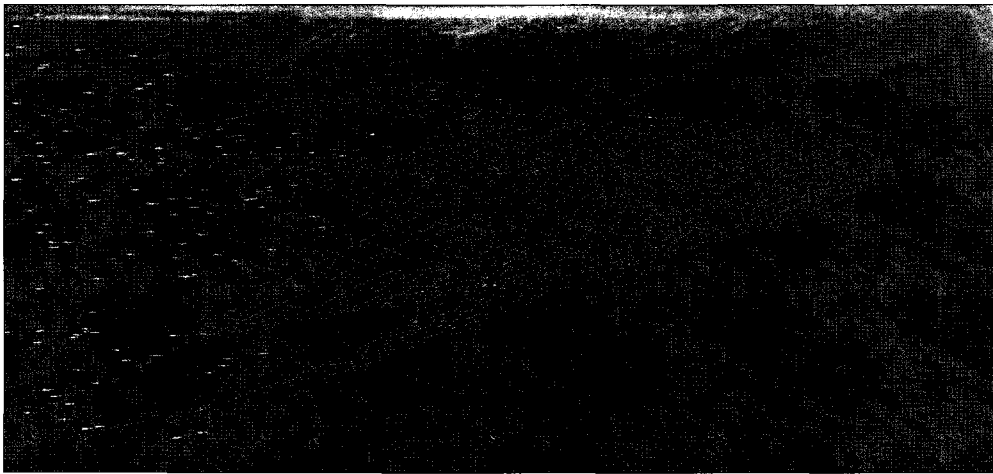


(C) 150초 경과

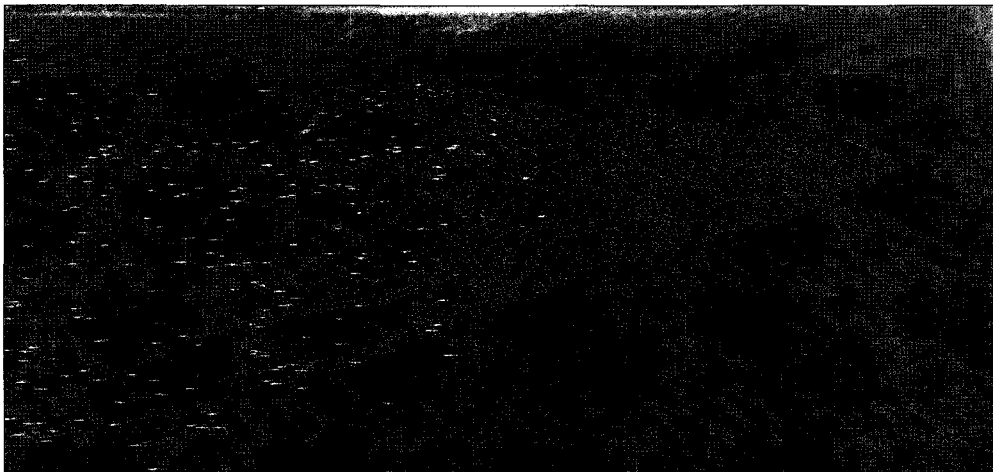
<그림 73> 중층트롤에서의 명태가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예.



(A) 50초 경과

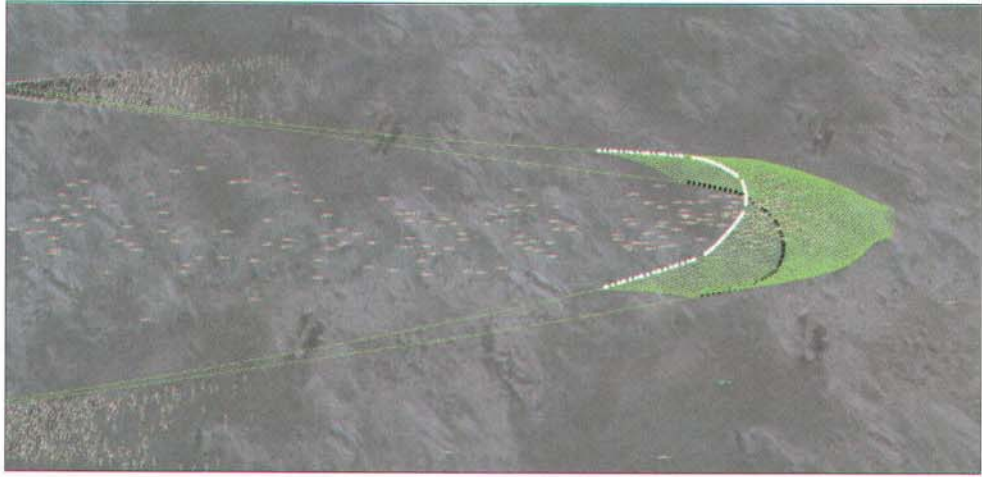


(B) 100초 경과

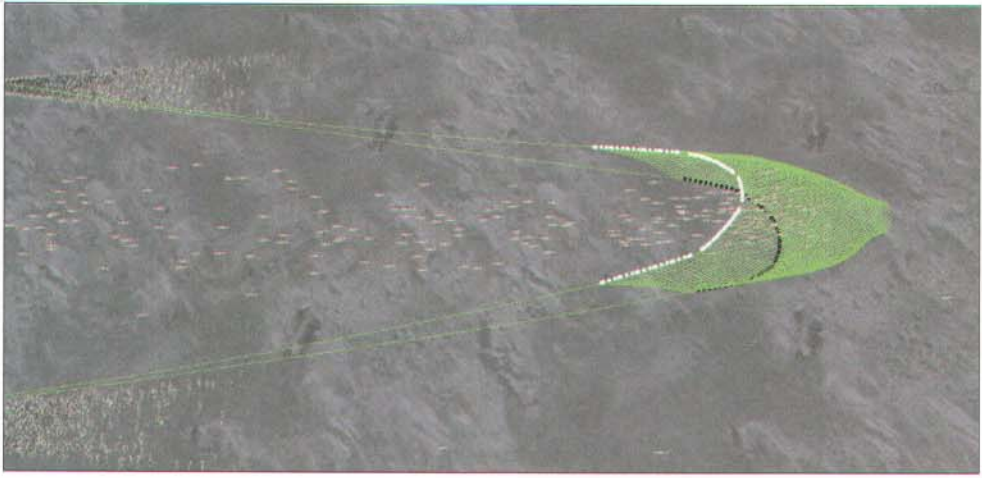


(C) 150초 경과

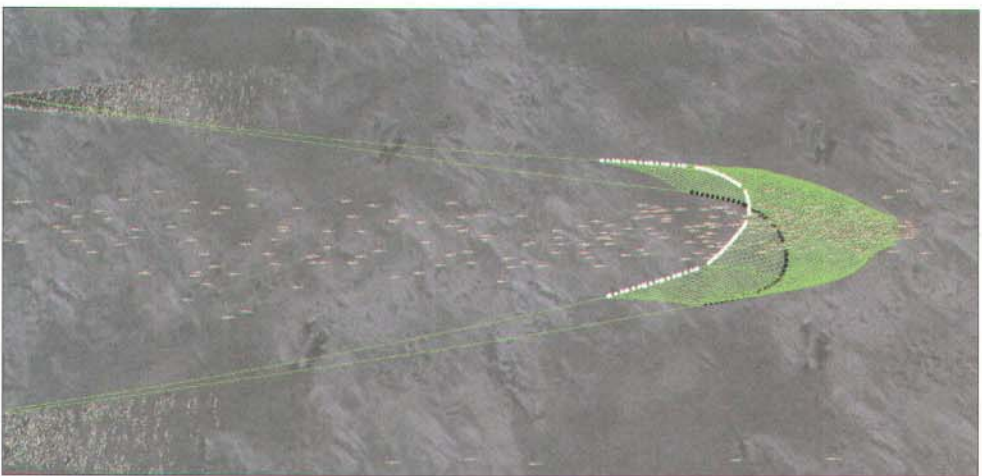
<그림 73> 중층트롤에서의 명태가 처음으로 어구에 조우한 후
경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예.



(A) 100초 경과

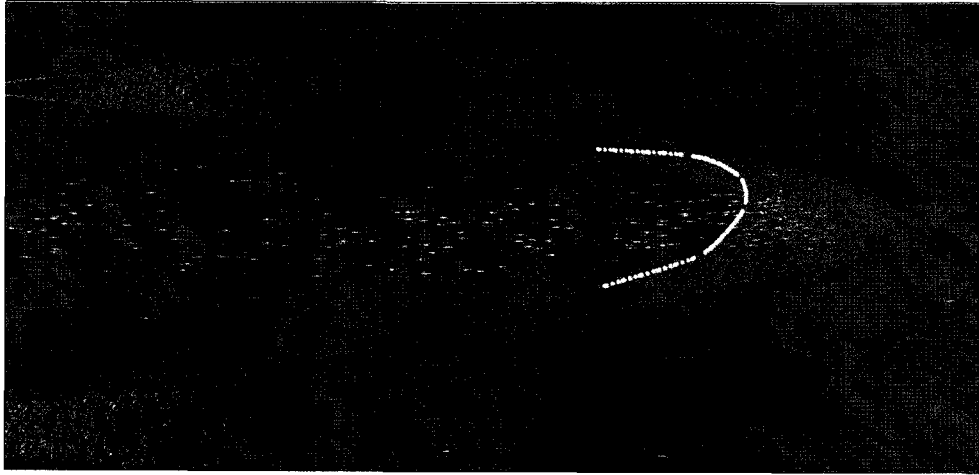


(B) 150초 경과

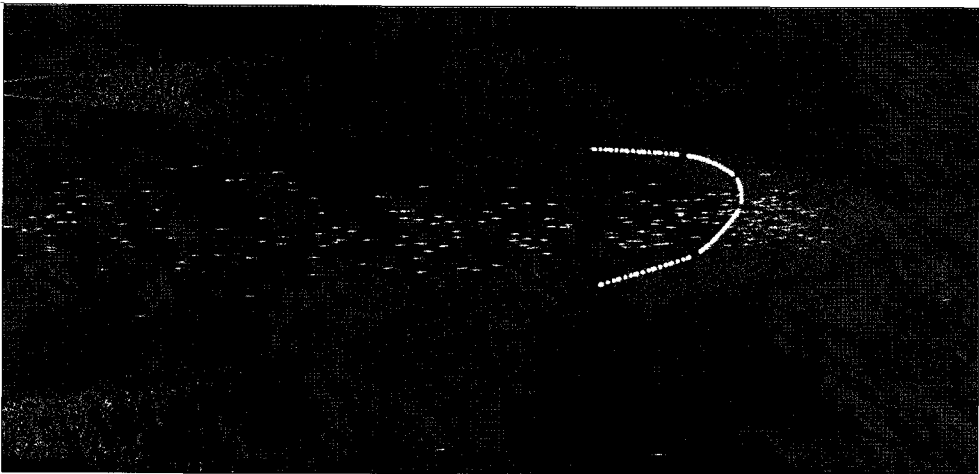


(C) 200초 경과

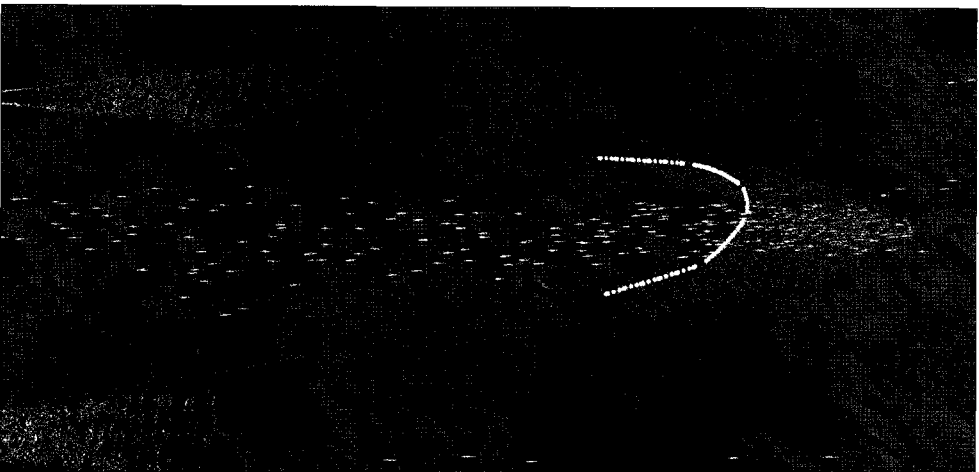
<그림 74> 저층 트롤에서의 명태가 처음으로 어구에 조우한 후 경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예.



(A) 100초 경과



(B) 150초 경과

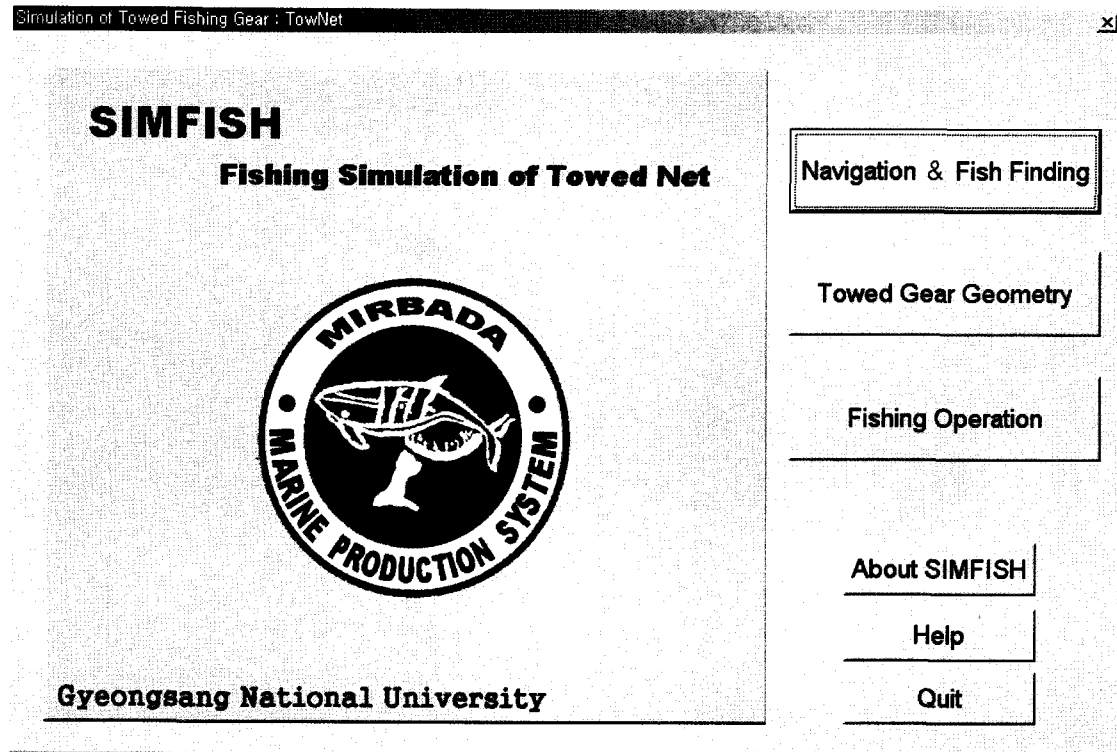


(C) 200초 경과

<그림 74> 저층 트롤에서의 명태가 처음으로 어구에 조우한 후
경과 시간에 따른 어류이동 애니메이션의 예.

제 5 절 통합 시뮬레이터의 디스플레이 구성

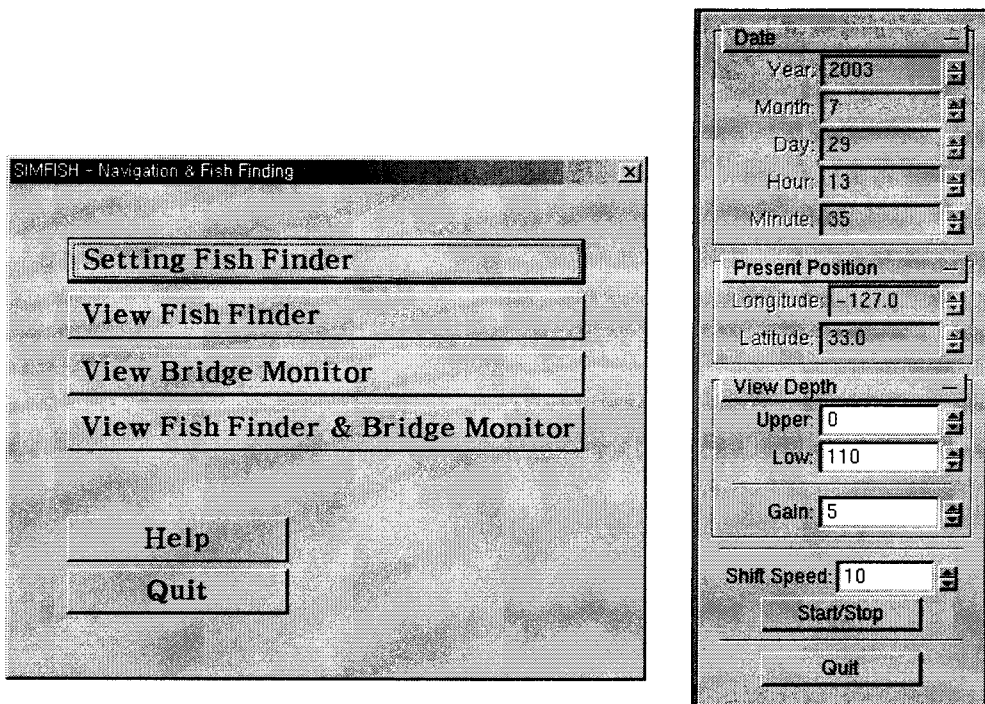
이상 앞에서 기술한 본 예망어업 모델링과 그래픽 처리 등을 통합한 예망어업 시뮬레이터의 실질적인 구성에서 메인메뉴 화면은 <그림 75>와 같이 오른쪽 부메뉴의 세가지 모듈로 어탐항해 모듈, 어구형상 모듈, 어획과정 모듈로 구성하였다.



<그림 75> 예망어업 시뮬레이터의 메인메뉴 화면.

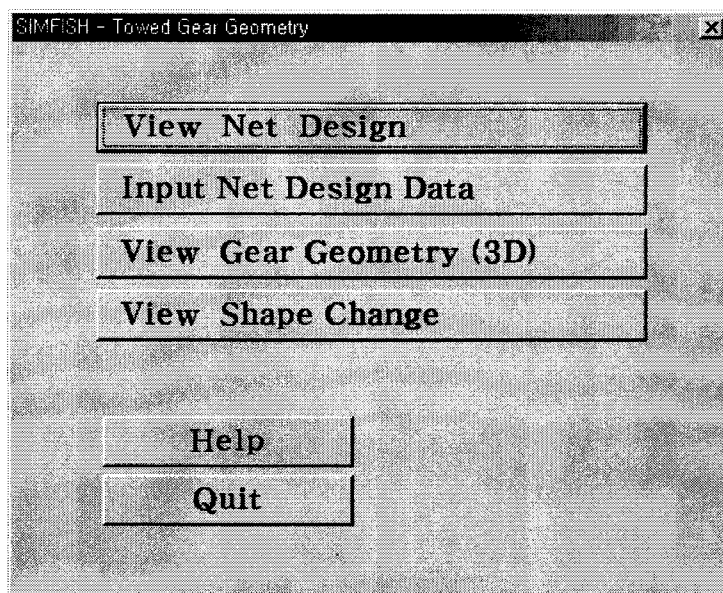
부메뉴에서 첫번째 항해, 어탐 시뮬레이션으로 들어가면 <그림 76>의 부메뉴에서 원하는 항목을 선택하고 들어가서 해당 디스플레이 메뉴에서 필요한 사항을 입력하고 어군탐지를 위한 <그림 57>의 어선조종으로 항주를 시작하면 <그림 58>의 운항모니터와 <그림 56>의 어탐이 작동되면서 필요한 정보가 실시간으로 디스플레이 된다. 어탐항해를 마치고 다른 부메뉴로 들어갈 때는 항해 종료시 수중상황에 대한 정보들이 다른 부메뉴에 필요한 입력정보 파일로 저장되어 어로작업 부메뉴에 전송될 수 있다.

두 번째 부메뉴인 어구형상 시뮬레이션에 들어가면 <그림 77>과 같은 옵션들이 나오는데 예망어구의 규격을 입력하기 위해서는 <그림 61>의 부메뉴에서 어구의 종류와 모델, 예망속도 등을 선택하고 어구설계도 각부 규격을 환산하여 입력한 후, 어구형상 시뮬레이션의 계산을 수행하기 시작한다.



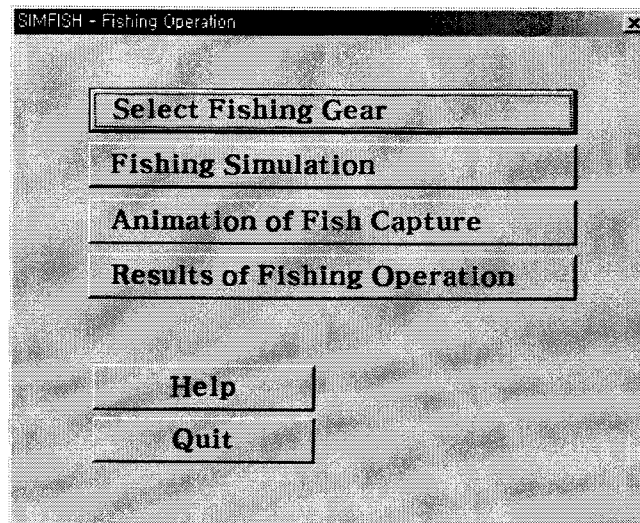
<그림 76> 어탐항해모델의 선택메뉴(왼쪽)과 초기 출발점 입력 메뉴(오른쪽).

계산시간은 어구종류 및 구조의 복잡한 정도와 컴퓨터 성능에 따라 수십초-1분 이내에 종료되면 <그림 66>의 3차원 수중형상 메뉴에서 3차원 형상을 보는 각도와 줌을 사용하여 디스플레이 할 수 있다. 여기서는 어구설계입력 과정 없이 기존의 어구형상 결과의 화일에서 바로 수중형상을 디스플레이 할 수도 있다.

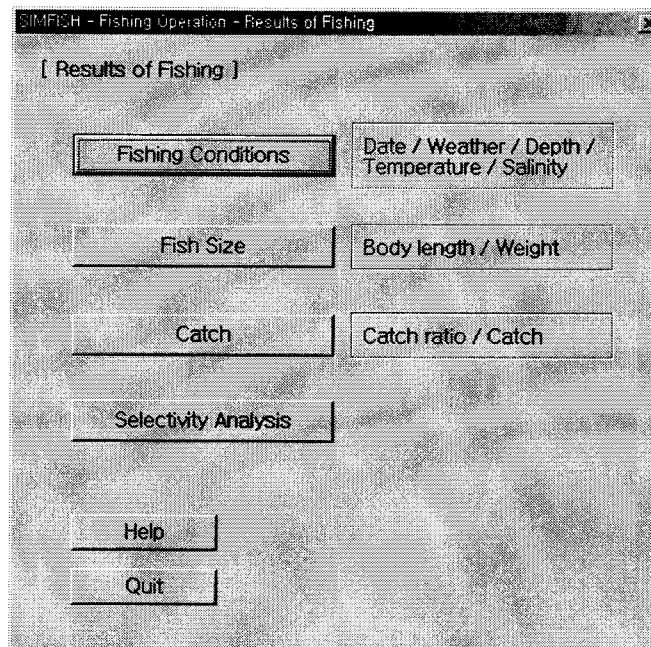


<그림 77> 예망어구 형상 메뉴.

세 번째 부메뉴인 어획과정 시뮬레이션으로 들어가면 <그림 78>과 같은 선택사항이 나오는데 앞의 어탐모델과 어구형상에서부터 설정된 어구와 어장 및 어로조건에 따른 어구형상 데이터, 어류의 유영이동 3차원데이터 및 어망 감시기의 데이터 파일을 전송 받거나 기존 결과 파일을 지정하여 <그림 71-4>와 같은 어획과정과 <그림 60>의 Trawl Eye의 애니메이션이 실시간으로 수행된다. 어로작업을 종료하면 <그림 36, 40, 41>의 어획결과에 대한 통계 그림을 옵션으로 <그림 79>에서 선택하여 나타낼 수 있도록 하였다. 참고로 이상의 예망어업 시뮬레이터의 구성메뉴와 애니메이션의 예는 웹사이트 <http://mirbada.gsnu.ac.kr> 에서 동영상으로 볼 수 있을 것이다.



<그림 78> 어획과정 시뮬레이션 선택메뉴.



<그림 79> 어획시뮬레이션 결과 선택메뉴.

제 6 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1차년도에는 다음과 같은 베어울프 시스템의 예비구성 및 시험, 예망어구의 수중형상과 어장환경 모델링 및 수중 어장환경 그래픽처리를 완료하였다.

- 프로토타입 베어울프 클러스터 시스템의 예비구성 및 시험
- 예망어구의 설계도 입력, 어포부 형상, 수중형상, 해저 및 빨물 등 어장환경 모델링
- 해저 및 빨물 발생 등 수중 어장환경 그래픽처리

2차년도에는 다음과 같은 최종시스템을 구축하고, 성능시험을 거쳐 병렬처리 시뮬레이션이 작동되도록 하면서, 예망어업 모델의 관련 세부모델들을 병렬 프로그래밍하고 시뮬레이션하며, 그 결과들의 그래픽 애니메이션 하여 거의 목표를 달성하였다.

- 베어울프 시스템의 전체구성 및 환경구축, 병렬 프로그래밍 디버깅 툴 개발
- 어업생물 발생모델, 어류의 혼돈행동 및 어획 모델링, 시뮬레이션, 조업결과 비교
- 데이터 입출력, 예망어구의 3차원 수중형상 디스플레이, 어획과정 애니메이션

최종연도인 3차년도에는 베어울프시스템의 최종 성능분석 및 관리운영체제를 구축하고, 2차년도까지의 세부모델과 어탐모델 등 예망어업의 통합모델을 시뮬레이션하고 이결과를 실시간으로 디스플레이하고 애니메이션하여 교습용 시뮬레이터를 완성하였다.

- 베어울프 최종 시스템의 성능분석 및 최적화
- 세부 어업모델의 통합 및 시뮬레이션, 결과 비교
- 어선운항 모니터, 어탐 디스플레이, 어구 및 어류행동의 애니메이션

<연차별 연구개발 내용과 실적>

연구수 행년차	연구계획	연구실적
1년차	<ul style="list-style-type: none"> ●시스템하드웨어 및 OS 구성 가. 시스템 설계 명세 개발 나. 프로토타입 시스템 구축(10 node) 다. 프로그래밍, 운영 및 통신 서브시스템 ●예망어업의 모델링 및 시뮬레이션 가. 현장조업자료 수집 및 분석 나. 어구설계입력, 예망어구 수중형상 다. 어장의 물리적, 수중광학 환경모델 ●데이터처리 및 그래픽 애니메이션 가. 그래픽 프로그램 선정 나. 해저환경 및 뱀물의 영상처리 	<ul style="list-style-type: none"> ●시스템하드웨어 및 OS 구성 가. 시스템 설계 명세 개발 나. 프로토타입 시스템 구축(10 node) 다. 프로그래밍 운영 및 통신 시스템 ●예망어업의 모델링 및 시뮬레이션 가. 현장조업자료 수집 및 분석 나. 어구설계입력, 예망어구 수중형상 다. 어장의 물리, 수중광학 환경모델 ●데이터처리 및 그래픽 애니메이션 가. 그래픽 프로그램 선정 나. 해저환경 및 뱀물의 영상처리
2년차	<ul style="list-style-type: none"> ●시스템하드웨어 및 OS 구성 가. 커널프로그램 개발 및 수행 실험 나. 관리 서브시스템 구축 및 성능 분석 다. 최종 시스템의 통신, 프로그래밍 서브 시스템 및 디버깅 환경 구축 ●예망어업의 모델링 및 시뮬레이션 가. 어업생물 발생모델 나. 어구별 행동자극모델 및 어획모델 다. 어종별 혼동반응모델 라. 현장조업과의 비교 및 검증 ●데이터처리 및 그래픽 애니메이션 가. 데이터 압축처리 및 입출력 나. 어구의 3차원 수중형상 디스플레이 다. 어구형상 계측기의 디스플레이 	<ul style="list-style-type: none"> ●시스템하드웨어 및 OS 구성 가. 커널프로그램 개발 및 수행 실험 나. 관리 서브시스템 구축 및 성능 분석 다. 최종 시스템의 통신, 프로그래밍 서브 시스템 및 디버깅 환경 구축 ●예망어업의 모델링 및 시뮬레이션 가. 어업생물 발생모델 나. 어구별 행동자극모델 및 어획모델 다. 어종별 혼동반응모델 라. 현장조업과의 비교 및 검증 ●데이터처리 및 그래픽 애니메이션 가. 데이터 압축처리 및 입출력 나. 어구의 3차원 수중형상디스플레이 다. 어구형상 계측기의 디스플레이
3년차	<ul style="list-style-type: none"> ●최종 시스템하드웨어 및 OS 구성 가. 시뮬레이터 및 애니메이터 디버깅 나. 운영 및 통신 서브시스템 성능 분석 다. 관리 서브시스템 구축 및 테스트 ●예망어업의 모델링 및 시뮬레이션 가. 어선 운항모델 및 어탐모델 나. 세부모델의 통합 다. 통합모델의 시뮬레이션 라. 시뮬레이션 결과의 검증 ●데이터처리 및 그래픽 애니메이션 가. 어류형태 및 유영 디스플레이 나. 어류의 유영 이동 애니메이션 다. 어탐신호 처리 및 디스플레이 라. 통합시뮬레이터의 디스플레이 	<ul style="list-style-type: none"> ●최종 시스템하드웨어 및 OS 구성 가. 시뮬레이터 및 애니메이터 디버깅 나. 운영 및 통신 시스템 성능 분석 다. 관리 서브시스템 구축 및 테스트 ●예망어업의 모델링 및 시뮬레이션 가. 어선 운항모델 및 어탐모델 나. 세부모델의 통합 다. 통합모델의 시뮬레이션 라. 시뮬레이션 결과의 검증 ●데이터처리 및 그래픽 애니메이션 가. 어류형태 및 유영 디스플레이 나. 어류의 유영 이동 애니메이션 다. 어탐신호 처리 및 디스플레이 라. 통합시뮬레이터의 디스플레이

제 7 장 연구개발결과의 활용계획

(1) 본 연구 결과를 가지고 산업화할 경우에는 어업종류 (저층트롤, 중층트롤, 기선저인망, 기선권현망 등), 하드웨어 (클러스터 노드수 및 통신장비 등) 및 개발된 소프트웨어의 종류 (어구형상, 어종별 행동모델, 그래픽 애니메이션 등) 별로 다양하게 사용자 요구에 따라 다양하게 시스템을 구성하여 보급할 수 있을 것이다.

(2) 따라서 본 시스템의 실용화, 산업화 기종은 크게 데모용, 교습용, 전문가용의 3가지로 다음과 같이 구성, 보급할 수 있을 것이다.

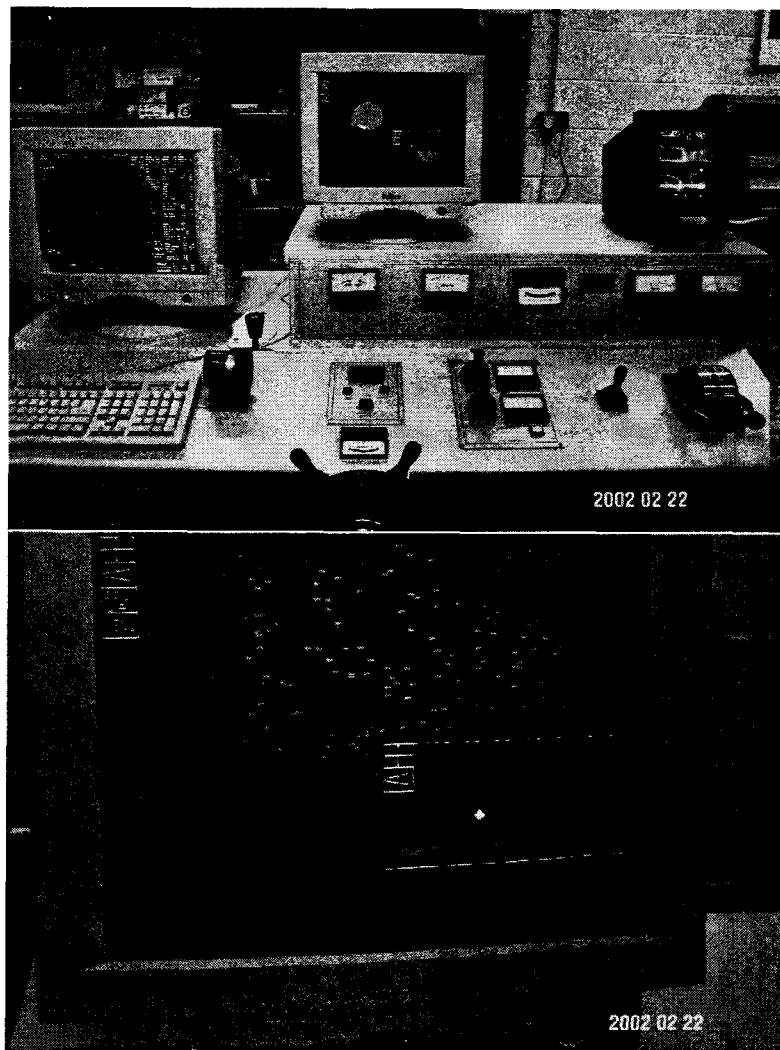
- ㉓ 데모용: 단일 PC 시스템에 선택된 어업종류 및 조업조건에 따른 시뮬레이션 결과 데이터를 다수(조업회수 단위) 적재하고 그래픽 애니메이션을 실행하여 고정된 화면의 디스플레이에 한정되나 홍보용 및 간단한 교육용으로 저가에 보급할 수 있을 것이다.
- ㉔ 교습용: 업종별 선택한 어구에 대한 어로작업조건을 입력하고 어획과정의 어류행동 시뮬레이션을 수행하고 계산결과를 디스플레이 할 수 있으며, 1회 조업당 계산시간은 하드웨어 구성에 따라 달라질 수 있다. 단일업종의 어업관련회사나 수협 등에서 어획성능 분석, 어선 및 어로작업 관리, 어선해기사 또는 어로기사 등의 교습용으로 활용토록 보급할 수 있을 것이다.
- ㉕ 전문가용: 보급용에 추가하여 위에서 열거한 업종들에 대한 어구 규격의 변경, 입력이 가능하고 시뮬레이션 결과의 어획선택성 분석이 가능하며, 어구설계조립 관련회사, 전개판 설계 제작회사, TAC 관련 정책자문 및 결정, 연구기관 등에서 어구설계 및 어업자원관리 연구용으로 활용이 가능하며, 하드웨어 구성에 따라 다양하게 보급이 가능할 것이다.

(3) 시작품 활용 : 본 연구에서 구축된 알파클러스터 시스템은 공학 계산용으로 우수한 성능을 가지고 있으므로 시스템 렌탈, 본 예망어업 모델의 시뮬레이션 대행, 결과 송부 등으로 시스템을 활용할 수 있을 것이다. 또한 준수퍼컴을 필요로 하는 수산, 해양분야의 정보처리 및 수치계산 모델링 등에 범용으로 활용이 가능할 것이다. 사용료 징수가 가능하며, 이 경우에는 실험실 벤처기업으로 활용이 가능할 것이다.

(4) 추가연구: 본 예망어업 시뮬레이터를 전문가시스템으로 확장하기 위한 추가연구가 필요하며, 그 다음단계로는 본 베어울프 클러스터 시스템을 사용하여 선망어업 시뮬레이터 개발 등 기타 어업의 모델링과 시뮬레이터 개발에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

제 8 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 예망어업의 연구수행에 필요한 정보와 전문가의 의견을 청취하기 위하여 영국의 Aberdeen 해양연구소와 Hull에 위치한 항해, 어업시뮬레이터 생산업체인 Simutech Eng.을 방문한 결과 생산된 간단한 시뮬레이터의 예는 <그림 80>과 같다. 예망어업 시뮬레이터는 단순한 예망작업의 순서에 따라 트롤윈치의 조작에 의한 투망 및 양망 작업과 조타기 조작에 의한 예망방향과 위치이동이 모니터에 디스플레이 되고 어획량은 단순히 망구에 소해되는 어군이 어획되어 양망 후 어획량이 보고되도록 하는 시스템이다. 따라서 어구에 대한 수중형상이나 어류의 반응행동 등 수중현상은 거의 구현하지 못하였고 단순하게 어로작업 연습이 가능한 조업 중 조선연습에 치중한 느낌이 들었다. 본 연구에서 목표로 하는 어구의 수중형상과 어류의 혼동행동을 고도의 이론과 현장조업결과에 근거한 연습용 또는 전문가용의 예망어업 시뮬레이터는 아직 출현하지 않았으며 하루빨리 개발하여 기술력을 선점하여야 할 것이다.



<그림 80> 영국 Simutech사의 시뮬레이터 구성(상) 및 예망 디스플레이(하).

제 9 장 참고문헌

- 국립수산진흥원. 1998. 연근해 주요어종의 생태와 어장. 예문사. pp.304.
- 김삼곤. 이주희. 김진건. 1992. 어업기술 28(4), 376-378.
- 김영태, 이용희, 최준태, 오재호, 2002. 초고속 네트워크를 이용한 PC 클러스터의 구현과 성능 평가, 한국정보과학회 논문지, 29(2), 57-64.
- 김용해. 1997. 예망어구 어포부에서의 어류 반응행동의 분석. 1997년도 추계수산관련 공동학술대회 발표요지집, 85-86.
- 김용해. 1998. 어업기술 34(1), 43-51.
- 김용해. 김봉익. 하석운. 2000. 예망의 수중형상 컴퓨터 디스플레이 시스템 개발. 경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소. pp.117.
- 김용해, 장충식. 안영수, 김형석. 2001. 기선권현망 어업의 어구 개량과 자동화 조업시스템 개발-II-수중광 및 예망유속과 멸치의 도피반응 행동분석. 한국어업기술학회지 37(2), 78-84.
- 김준택, 노홍길, 김상현, 고준철, 안영화, 최찬문. 2002. 한국 연근해 방어 어획량 변동 및 분포특성에 관한 연구. 한국어업기술학회지 38(1), 11-19.
- 노재동. 1981. 최신어탐기술과 응용. 수산경제사. pp.142.
- 배수연, 박미영, 전용기. 2000a. "병렬 프로그램의 메시지경합 탐지기법에 대한 시험도구," 한국정보과학회 춘계학술발표논문집, 29(1): 598-600, 한국정보과학회,
- 배수연, 박미영, 전용기. 2000b. "메시지전달 프로그램의 디버깅을 위한 경합조건의 확장적 시각화," 한국정보과학회 추계학술발표논문집, 29(2), 한국정보과학회,
- 양 용립. 1980. 활멸치 어장에서의 해수의 광학적 성질에 관한 연구, 한국수산학회지 13(3), 95~101.
- 오수철, 정상화, 2000. 클러스터 시스템 기술 동향, 한국정보과학회지, 18(3), 4-10.
- 이대재. 1999. 어업계측공학. pp.215. 태화출판사.
- 이대재. 이원우. 1996. 제주도 동남해역의 저서어업자원 조사연구. 한국어업기술학회지 32(3), 257-272.
- 이대재. 김진건. 신형호. 1998. 한국 남해안의 잠재어업자원 조사연구. 한국어업기술학회지 32(3), 241-273.
- 이병기. 1981. 어법학원론. 태화출판사. p.196-216.
- 이병기, 이대재, 장호영, 1995. 모형그물물에 대한 어군행동의 수치모델링에 관한 연구(I), (II), 한국어업기술학회지 32(1,2): 307-339.
- 이윤배. 2000. 전문가시스템. 홍릉과학출판사.
- 이주희. 김삼곤. 김진건. 박정식. 1992. 어업기술 28(4), 365-368, 1992, 어업기술 30(3), 161-188.

- 이춘우 등, 1998. 컴퓨터를 이용한 트롤어구 설계 및 예망자동화 시스템. 수산특정연구
과제최종보고서. pp. 234
- 차봉진. 이춘우. 김현영. 2002. 컴퓨터를 이용한 트롤어구의 끝자루 그물코 형상 시뮬
레이션. 2002 추계 수산관련 공동학술대회 발표요지집. 23-24.
- 최재영, 이준호, 황석찬, 2000. 클러스터를 위한 소프트웨어 도구, 한국정보과학회지,
18(3), 40-47.
- 홍정우, 이보성, 박형우, 이상산, 2002. HPC 클러스터 구축을 위한 다양한 네트워크
성능분석, 정보처리학회 논문집, 9(1), 319-322.
- Bailey, D. H., T. Harris, W. Saphir, R. van der Wijngaart, A. Woo, and M.
Yarrow. 1995. *The NAS Parallel Benchmarks 2.0*, NASA Technical Report
NAS-95-020, NASA Ames Research Center,
- Bake L. 1997. 병렬프로그래밍. 삼각형. pp.419.
- Buyya, R., 1999. High Performance Cluster Computing, Prentice-Hall,
Compaq Computer Corporation, Intel Corporation, Microsoft Corporation, *Virtual
Interface Architecture Specification* Version 1.0.
- Debevec, P.E., Yu, Y. and G. Borshukov. 1998. Efficient view dependent
image-based rendering with projective texture mapping. *Rendering
Techniques '98*, p. 105-116.
- Dickson, W. 1967. Trawl gear geometry and resistance. FAO/USSR Seminar Tour
on Instrumentation and Methodology in fishing Technology, Moscow, 3-22
Oct. 1966, TA2277-2. p.73-94.
- Dowd, K., and C. Severance, 1998. *High Performance Computing*, O'Reilly,
- Ferro, R.S.T. 1989. 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.
- Ferro, R.S.T. and Leaver, I.d.(1989): Further data on flow in trawls and codends,
D.A.F.S. working paper No.6189, 1~5.
- Ferro, R.S.T. and Stewart, P.A.M.(1987): The drag of Nylon codends, *Fish. Res.*, 5,
333~341
- Francis, R.J.C. et al. 2003. Quantifying annual variation in catchability for
commercial and research fishing. *Fish. Bull.* 101, 293-304.
- Friedman, A.L. 1967. geometry and resistance of trawls based on a lecture.
FAO/USSR Seminar Tour on Instrumentation and Methodology in fishing
Technology, Moscow, 3-22 October 1966, TA2277-2. p.35-72.
- Gertseva, V.V. & Gertsev, V.I. 2002. A model of fish population distribution in the

- space of inhabitation. *Ecological Modelling*, 161-170.
- Harris, M. J. and A. Lastra, 2001. Real-Time Cloud Rendering. *Computer Graphics Forum (Euro graphics 2001 Proceedings)*, 20(3):76-84, September 2001.
- Hockney, R.W. and Eastwood, J.W. 1988. *Computer Simulation Using Particles*. Adam Hilger, New York.
- Hoppe. H. 1998. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering. *Proceedings IEEE Visualization '98*, p. 352.
- Hoppensteadt, F.C. 1993. *Analysis and simulation of chaotic systems*. Springer-Verlag. pp.297.
- Hwang, K., and Z. Xu, 1998. *Scalable Parallel Computing*, McGraw-Hill,
- Jagiello, T. et al. 2003. Demersal groundfish densities in trawlable and untrawlable habitats off Washington. *Fish. Bull.* 101, 545-565. 2003.
- Jerlov. 1976. *Marine optics*.
- Kang, D. & Hwang, D. 2003. Ex situ target strength of rockfish (*Sebastes schlegeli*) and red sea bream (*Pagrus major*) in the Northwest Pacific. *ICES. J. of Marine Science*, 60, 538-543.
- Kerlow I.V. 2000. *The art of 3-D computer animation and imaging*. John Wiley.
- Kim, Y-H. 1996. Developing a model of fish behaviour to towed fishing gear. Ph.D Thesis in the University of Aberdeen. pp.280.
- Kim Y-H. and Wardle C.S. 1997. 한국수산학회지 30, 929-935.
- Kim, Y-H. and Wardle, C.S. 1998. Modelling the visual stimulus of towed fishing gear. *Fisheries Research* 34(2), 165-177.
- Kim, Y-H. and Wardle, C.S. 2003. Optomotor response and erratic response: quantitative analysis of fish reaction to towed fishing gears. *Fisheries Research* 60, 455-470.
- Lee, C. 2002. Dynamic analysis and control technology in a fishing gear system. *Fisheries Science* 68 Suppl. 2, 1835-1840.
- Lorenz, Edward N. 1979. On the prevalence of a periodicity in simple systems. In: A. Dold & B. Eckmann. (Eds). *Global analysis*. Springer-Verlag. p.53-75.
- Lorenz, Edward N. 1995. *The essence of chaos*. UCL Press Ltd. pp. 227.
- Main, J. and Sangster, G.I. 1981a. A study of the sand clouds produced by the trawl boards and their possible effect on fish capture. *Scott. Fish. Res. Rep.* 20, 1-20.
- Main, J. and Sangster, G.I. 1981b. A study of the fish capture process in a bottom trawl by direct observations from towed underwater vehicle. *Scott. Fish.*

- Res. Rep. 23, 1-23.
- Matuda, K. and Sannomiya, N., 1980. Computer simulation of fish behaviour in relation to fishing gear. *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.*, 46(6): 689-697.
- Nishita, T., Y. Dobashi, E. Nakamae, 1996. *Display of Clouds Taking into Account Multiple Anisotropic Scattering and Sky Light*. SIGGRAPH 1996, pp. 379-386.
- Norcontrol. 1989. FS 304 Fishery Simulator Product Description. pp.36.
- Ona, E. 2003. An expanded target-strength relationship for herring. *ICES J. of Marine Science* 60, 493-499.
- O'Neil, B. 1992. Differential equations governing the cod-end geometry of a diamond mesh cod-end of a trawl net. *J. Applied Mechanics* 64, 7-14.
- Ong, H., and P. A. Farrell, 2000. Performance Comparison of LAM/MPI, MPICH, and MVICH on a Linux Cluster connected by a Gigabit Ethernet Network, *the Proceeding of the 4th Annual Linux Showcase and Conference*, pp. 353-362, Atlanta, Georgia, Oct. 2000
- Pfneiszl, H., and G. Kotsis. 1996. *Benchmarking Parallel Processing Systems - A Survey*, TR-96103, University of Vienna, Institute of Applied Computer Science and Information Systems,
- Press et al. 1996. *Numerical recipes in FORTRAN 90*. Cambridge University Press.
- Sannomiya, N and Matuda, K. 1993. Three tentative approaches to modelling fish behaviour in relation to fishing gears. *ICES Marine Symposia*, 196: 98-102.
- Santos, M.N. et al. 2002. Weight-length relationship for 50 selected fish species of the Algarve coast (southern Portugal). *Fisheries Research* 59, 289-295.
- Saphir, W., A. Woo and M. Yarrow. 1996. *The NAS Parallel Benchmarks 2.1 Results*, NASA Technical Report NAS-96-010, NASA Ames Research Center,
- Satou, T., Sannomiya, N., Nakamine, H. and Matuda, K. 1996. Modeling of fish behaviour in relation to moving gear. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 62(5):740-746.
- Schaufler, G. and Stuerzlinger, 1996. A three dimensional image cache for virtual reality. *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics '96)*, 15(3):227-235, Aug. 1996.
- Schellart N.A.M and Prins M. 1993. *Netherlands J. Zoology* 43(3-4), 274-295.
- Somerton, D.A. & Munro, P. 2001. Bridle efficiency of a survey trawl for flatfish.

- Fish. Bull. 99, 641-652.
- Sterling, T.L. 1999. How to build a Beowulf: A guide to the implimentationing application of PC clusters. MIT Press.
- Stewart, P.A.M. and Ferro, R.S.T. 1987. Four experiments investigating codend drag. Fisheries Research 5, 349-358.
- Transas Marine(UK). 1998. Specfication for Navigation and fishing Simulator.
- Vincent, B. 2003. Modelisation tools dedicated to sustainable fishing. Fishing Gear Systems 2003. pp.13. Glasgow, Scotland.
- Warren, M.S. etc .1998. Avalon: An Alpha/Linux cluster achieves 10 Gflops for \$150k. Los Alamos Laboratory, USA.
- Weinberg, K.L. et al. 2002. The effect of trawl speed on the footrope capture efficiency of survey trawl. Fisheries Research 58, 303-313.
- William, G., 1999. Using MPI: portable programming with the message passing interface. MIT Press.
- Wright, R.S. & Sweet, M. 2000. OpenGL SuperBible, Waite Group Press.