

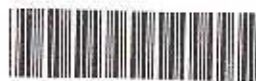
정치망 어구설계 및 해석시스템 개발

Development of the design and analysis system
for pound net

2006. 11

부경대학교

농림수산식품자료실



0014499

해양수산부

최 종 보 고 서

2006년도 수산특정연구개발사업에 의하여 완료한 정치망 어구설계 및 해석시스템 개발에 관한 연구에 관한 연구의 최종보고를 붙임과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 8부

2. 최종보고서 디스켓 1매

* 최종보고서 파일은 인터넷(<http://rptf.kmi.re.kr>)으로 제출

2006 년 11 월 19 일

총괄연구책임자 이 춘 우 (인)

주관연구기관장 목 연 수 (직인)

해 양 수 산 부 장 관 귀 하

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “정치망 어구설계 및 해석시스템 개발에 관한 연구에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 11 월

주관연구기관명 : 부경대학교

총괄연구책임자 : 이 춘 우

연 구 원 : 이주희, 권병국, 김형석
신종근, 차봉진, 정성재
윤일부, 이명우, 이건호

요 약 문

I. 제 목

정치망 어구설계 및 해석시스템 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

정치망어업은 소극적 어법으로 고유가시대에 잘 부합되는 어업이며, 어획물의 효율적 이용 측면에서도 고부가가치를 끌어낼 수 있는 경쟁력 있는 어업 중 하나이다. 주로 일본과 우리나라에서 사용되고 있는 정치망은 연안에 부설되는 대형의 어구로, 어장의 해양물리적 조건에 따라 어획성능에 큰 영향을 받는다. 이 어구는 한 번 부설한 후에는 수정이 어려우므로, 부설 어장의 환경조건과 어구 구조에 대한 정확한 이해를 바탕으로 어구를 설계하고 설치해야한다.

이 전까지 정치망 어구 설계는 어업자들의 경험을 바탕으로 한 어구의 수정과 보완과정을 통해 이루어져 왔기 때문에, 어장의 환경 조건과 어구 구조에 대한 체계적인 설계기준을 확립할 수 없었다.

정치망 어구설계 및 해석시스템 개발에 관한 본 연구는 모형실험을 통해 설계기준을 도출하고, 정치망의 거동을 해석할 수 있는 이론모델을 개발하여, 컴퓨터로 정치망의 설계 뿐만 아니라 다양한 해양조건의 영향에 따른 어구의 움직임에 대하여 시뮬레이션할 수 있는 도구를 개발하기 위한 것이다. 이를 통해 다양한 해양물리적인 조건과 설계 조건에 따라 정치망의 거동을 시뮬레이션하여 환경 외력에 대한 영향을 평가할 수 있으므로 어구를 어장에 부설하기 전에 성능을 평가하여 보다 경제적이고 효율적인 시스템을 설계하고 운용할 수 있다.

III. 연구개발 내용 및 결과

1차년도 연구에서는 남해 및 동해의 주요 정치망에 대하여 현장조사 및 문헌조사를 실시하였고, 조사된 정치망 중 실험의 모델이 될 수 있는 정치망을 선정하여 정밀조사를 실시하였다. 또한, 모형실험을 통해 어구의 수중형상과 장력을 분석하여 어구설계 및 해석의 기초자료로 사용하였고 어구의 설계기준도 도출하였다. 정치망을 유연구조물로 간주하고, 이 유연구조물의 변형을 지배하는 운동방정식의 기술 방법을 제시하였고, 이를 풀기 위하여 비선형의 강성이 큰 시스템의 동적 해석에 적용될 수 있는 수치계산 기법인 음공식(implicit)을 이용한 수치

계산기술을 개발하였다. 이러한 이론모델의 정확성을 검증하기 위하여, 수치해석 결과에서 얻어진 값과 모형을 이용한 수조실험에서 얻어진 결과를 비교하여 모델링의 정확성을 제고하였다.

2차년도 연구에서는 정치망 어구를 컴퓨터상에서 설계할 수 있는 설계도면 작성도구를 개발하였다. 또한 자동 모델링 프로그램을 개발하여 설계도면이 완성되면 정치망 어구재료에 대한 데이터베이스 시스템과 연동되어 시설 재료의 속성이 반영된 운동방정식이 자동으로 생성되고, 계산 조건의 설정만으로 수치 시뮬레이션을 위한 자료 파일이 만들어져서 바로 시뮬레이션을 할 수 있는 시스템을 개발하였다. 앞의 계산의 결과를 그래픽으로 구현하기 위하여 그래픽 라이브러리인 OpenGL을 사용하여 3차원 영상으로 시각화할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 마지막으로 앞에서 개발된 정치망 어구 설계도면 작성용 프로그램, 자동 모델링 및 수치계산 프로그램과 3차원 그래픽 프로그램을 결합하여 정치망 어구 설계 및 해석 도구 시작품을 구성하였다.

IV. 연구개발결과의 활용계획

세계적으로 트롤 및 선망과 같은 능동형 어구의 거동 해석에 관한 연구는 상당수 진행되어 오고 있으나 정치망과 같은 소극적 어구에 대한 수중형상과 망지의 유수저항에 대한 연구는 드물다. 이와 마찬가지로 소극적 어구의 성능 평가를 위한 설계 및 시뮬레이션 도구는 세계적으로 그 사례를 찾아볼 수 없으므로 본 연구를 통해 개발된 정치망 어구설계 및 해석시스템의 상품화를 통하여 국내외에 독자적으로 보급할 수 있다. 이러한 소프트웨어는 양식시설 제조회사, 어구의 신기술을 개발하는 연구소 및 교육기관에서 업무와 교육 자료로 활용할 수 있다.

본 연구에서 개발된 도구는 고가의 대형 어구인 정치망을 단순화된 설계과정과 데이터베이스를 이용하여 보다 효율성 있게 설계할 수 있으며, 시뮬레이션 프로그램을 통하여 다양한 해양환경조건의 영향을 받을 경우 어구의 거동을 해석할 수 있으므로 경제적인 어구를 설계할 수 있고, 정치망의 부설과 운용과정의 안전성을 크게 높일 수 있다.

또한, 연안 정치망어구 뿐만 아니라 외해 양식시설 및 해저에 고정되어 있는 수중유연구조물의 거동 해석에도 본 연구의 결과를 활용할 수 있다.

목 차

제 1 장 서론	1
----------	---

제 2 장 모형실험 및 설계기준 도출

제 1 절 정치망 어구조사

1. 조사대상 정치망	4
2. 어장환경 정밀조사	9
3. 어장환경 조사결과	13
4. 정치망 내부의 측정 위치별 유향 및 유속 변화	22
5. 정치망어구 주변의 파고의 변화	27

제 2 절 모형실험 및 설계기준도출

1. 모형실험	28
2. 실험재료 및 방법	28
3. 결과 및 고찰	37

제 3 장 어구설계 및 해석시스템 개발

제 1 절 정치망 어구시스템 모델링

1. 운동방정식 기술	60
2. 내력과 외력	62
3. 파랑 모델	67

제 2 절 수치계산 기법

- 1. 뉴마크 법 ----- 70
- 2. 후향 오일러법 ----- 71

제 3 절 수치해석 방법의 비교

- 1. 알려진 해를 이용한 오차 비교 ----- 73
- 2. 계산 시간의 비교 ----- 75

제 4 절 실물망지의 시뮬레이션

- 1. 실물실험 ----- 77
- 2. 시뮬레이션 결과와의 비교 ----- 79

제 4 장 정치망 설계도면 작성 및 그래픽 프로그램 개발

제 1 절 정치망 어구 설계용 프로그램

- 1. 정치망 어구 설계용 프로그램의 구조 ----- 81
- 2. 정치망의 구조 결정 도구 ----- 88
- 3. 임의 형상 정치망 설계 도구 ----- 92
- 4. 망지 선택 및 사단 ----- 96
- 5. 망지와 명줄의 결합 ----- 99

제 2 절 자동 모델링 프로그램 개발

- 1. 망지의 근사 ----- 103
- 2. 운동방정식 자동 생성 ----- 105
- 3. 조류와 파장의 계산 ----- 107

제 3 절 3차원 그래픽 해석 시스템 개발	108
제 4 절 정치망 어구 설계 및 평가	
1. 실물 정치망 설계의 예	111
제 5 장 시뮬레이션	
제 1 절 유속에 대한 응답	
1. 운동장 방향의 조류	115
2. 원통 방향의 조류	123
제 2 절 파랑에 대한 응답	
1. 운동장 방향의 파랑	131
2. 원통 방향의 파랑	138
제 3 절 유속과 파랑의 동시 작용에 대한 응답	
1. 유속과 파랑이 같은 방향으로 작용할 경우	147
2. 유속과 파랑의 방향이 다를 경우	150
제 6 장 결 론	156
참고문헌	160

SUMMARY

I. Title

A Study on pound net Fishing Gear Design and Interpretation System Development

II. Objectives and Significance

As a passive fishing method, pound net fishing well corresponds to the era of high oil prices, and in terms of catch usage efficiency also, it is one of the competitive fishing methods that can create high added value. Mainly used in Japan and Korea, the pound net is a large scale fishing gear laid along the coast, and the catch performance is greatly affected by the physical ocean conditions in the fishing grounds. With this fishing gear, because adjustment is difficult after being laid once, the fishing gear must be designed and laid based on precise understanding of environmental conditions in the fishing grounds and the structure of the fishing gear.

Previously, pound net fishing gear design was conducted through a process of adjustment and supplementation based on the long-term experience of fishermen, so a systematic design standard in relation to environmental conditions in the fishing grounds and structure of the fishing gear could not be established.

This study on pound net fishing gear design and interpretation system development was conducted to derive a design standard through model testing and by developing a theoretical model that can interpret the movements of the pound net, not only develop computerized pound net design, but also tools that can conduct simulation on the fishing gear movements in accordance with the effects of various ocean conditions. Through this, the effects of the external environmental forces can be evaluated by conducting simulation of the pound net movements in accordance with the physical ocean conditions and design conditions, so a more economical and efficient system can be designed and operated by evaluating the performance before laying the fishing gear in the fishing grounds.

III. Contents and Results of the Study

In the 1st year study field survey and documents examination were conducted in relation to the major pound nets in the south and east sea, and by selecting the pound nets adequate as test models, a precision survey on the oceanic factors of the fishing ground was performed. Moreover, by analysing underwater images and tension of fishing gear through model testing, it was used as basic data for fishing gear design and interpretation, and the fishing gear design standard was also derived. The pound net was assumed to be a flexible structure, and an equation of motion technique controlling the transformation of the flexible structure was proposed, and in order to solve this, an implicit numerical calculation technique was developed, a numerical calculation method that can be applied to the dynamic interpretation of the nonlinear stiff system. In order to verify the accuracy of this theoretical model, the modelling accuracy was raised by comparing the results of the value obtained from the numerical interpretation and results obtained in the circulating water tank test using a model.

In the 2nd year study a design plan construction tool enabling computerized design of pound net fishing gear was developed. Furthermore, by developing an automatic modelling program, when the design plan is completed, it connects to the pound net fishing gear materials database system, an equation of motion reflecting the properties of the structure materials is automatically created, and making data for the numerical simulation just by setting the calculation conditions, a system that can conduct simulation with those data was developed. In order to form a graph of the calculation results, a program to construct visuals through 3D images was developed using OpenGL, a graphics library. Finally, the trial product of pound net fishing gear design and interpretation tool was composed by combining the pound net fishing gear design plan construction program, the automatic modelling and numerical calculation program, and the 3D graphics program.

IV. Proposals for applying of the study

Around the world many studies on the movement interpretation of active fishing gear such as trawl and purse seine is being conducted, but studies on underwater shapes and

water flow resistance of the net for passive fishing gear such as the pound net are rare. Likewise, there are no cases of design and simulation tools for the evaluation of passive fishing gear performance, so by commercializing the fishing gear design and simulation tool developed through this study, exclusive supply can be made both in Korea and overseas. This kind of software can be used as research and education data by fish farm facility manufacturers, research centers developing new fishing gear technology, and education institutions.

The pound net which is a high price, large scale fishing gear can be designed more efficiently using the simplified design process database, and because interpretation of fishing gear movement under the effects of various ocean conditions can be made through the simulation program, fishing gear can be designed economically, and the installation of the pound net and the safety of the operation process can be greatly improved.

Moreover, the results of this study can be utilized not only for coastal pound net fishing gear, but also for fish cage facilities and the interpretation of fixed underwater flexible structure movements.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	-----	1
-------------------------	-------	---

Chapter 2. Model experiments and design standards

Section 1. Survey the Pound net

1. Surveyed pound nets	-----	4
2. Survey of the environment of fishing ground	-----	9
3. Results of the fishing ground survey	-----	13
4. Change of the current at inside of the pound net	-----	22
5. Wave height on the fishing ground	-----	27

Section 2. Model experiment and design standards

1. Model experiment	-----	28
2. Materials and Methods	-----	28
3. Results and Discussions	-----	37

Chapter 3. Fishing gear design and interpretation system

Section 1. Modeling of the pound net system

1. Derive the equation of motion	-----	60
2. Internal and External force	-----	62
3. Wave model	-----	67

Section 2. Numerical calculation method

1. Newmark- β	70
2. Backward Euler	71

Section 3. The comparison of numerical methods

1. The comparison of error by known results	73
2. The comparison of calculation time	75

Section 4. Simulation of net

1. Experiment of a real net	77
2. The comparison of the results of simulation	79

Chapter 4. Developing the design and graphic program of pound net

Section 1. Pound net design program

1. The structure of pound net design program	81
2. Selection of the structure of pound net	88
3. Design tool for user-defined structure of pound net	92
4. Selection of net and tapering	96
5. Connection of nets and mooring lines	99

Section 2. Developing the auto modeling program

1. Approximation method of netting	103
2. Auto creation of motion equation	105
3. Calculation of current and wave	107

Section 3. 3-dimensional graphic interpretation system	-----	108
Section 4. Design of pound net and evaluation		
1. Example of design of existing pound net	-----	111
Chapter 5. Simulation		
Section 1. Response to the current		
1. Current from the court net of pound net	-----	115
2. Current from bag net of pound net	-----	123
Section 2. Response to the wave		
1. Wave from the court net of pound net	-----	131
2. Wave from the bag net of pound net	-----	138
Section 3. Response to the current and wave		
1. Current and waves acting in the same direction	-----	147
2. Current and waves acting in the opposite direction	-----	150
Chapter 6. Conclusion	-----	156
References	-----	160

제 1 장 서 론

우리나라 전 연안에 산재해 있는 정치망어업은 면허건수로는 약 640건, 어획량으로는 약 5~6만톤에 달하는 중요한 어업이나, 최근 국제적인 어업질서의 재편, EEZ확대, TAC실시, WTO체제의 정착과 유가상승 등으로 새로운 활로를 모색해야할 시점에 있는 어업중의 하나이다. 그러나, 정치망어업은 그 특성상 어군의 자연적인 통로를 길그물로 차단하여 어군을 헛통으로 유도한 후 비탈그물을 통해 원통으로 들어가게 하여 어획하는 소극적 어법으로 타 어구어법에 비하여 전형적인 에너지 절약형이기 때문에 고유가시대에 비교적 잘 부합되는 어업이라고 할 수 있다. 또, 정치망어업은 어획물의 대부분이 활어와 선어이고, 건조 등 가공처리하여 위판할 수 있으므로 그 이용의 효율성 측면에서 매우 고부가가치의 운영체계를 갖는 어업으로서 21세기 경쟁력 있는 어업의 하나로 육성 발전할 수 있는 많은 가능성을 가지고 있다.

정치망의 주 어획대상 어종은 삼치, 갈치, 방어 오징어, 병어, 고등어, 멸치 등의 회유성 어종은 물론 일부 정착성 어종까지 다양하나, 어구 안으로 들어온 어군만을 어획하게 되므로 다른 적극적 어법에 비하여 자원 남획의 우려가 적다.

정치망 어업은 일정 수역에 대한 면허권을 취득하여 배타적·독점적 권리를 가지는 특성을 갖는 어업으로써 어장(지정학적 및 해양학적 특성), 어구어법(그물, 어선, 설비, 어로), 경영(자금, 선원, 어획물의 관리)을 어떻게 조직적으로 운영하느냐에 따라 사업성이 결정되며, 특히 특정 위치에 어구를 일정기간동안 부설하여 내유하는 어군만을 체포할 수밖에 없는 수동적 어업이라는 특성상 어구의 부설위치(적지)는 어업의 성패를 결정하는 가장 기본적이면서도 중요한 요소라고 할 수 있다. 그리고 적지 문제는 어군의 내유량 외에도 어구부설의 난이도, 조업일수 및 어구의 내구성 같은 조업여건과 어선의 시설 형태 등과 밀접한 관계를 가지고 있다.

정치망은 해면에 떠있는 뜬의 형상 및 침강 정도로 사용어구의 수중형상을 추정하고 있으며, 조류, 파도 등 해황에 따라 조업에 상당한 제약을 받는 어구로써 특히, 급조시에는 망형상 변화가 심하고, 그물의 파망 및 유실에 의한 조업부진 등이 문제점으로 나타나고 있어 정치망의 조류에 대한 수중형상, 어획성능의 예측과 해황의 영향에 충분히 견딜 수 있는 어구구조 등에 대한 연구의 필요성이 어느 어업보다 큰 어업이다.

따라서, 본 연구에서는 정치망어구조사 및 모형실험을 통한 설계기준 도출, 정치망어구설계 및 해석시스템 개발, 정치망어구 설계도면 작성 프로그램 및 3차원 그래픽 프로그램 개발을

목표로 2개년에 걸쳐 연구를 수행하였다. 각 개발 항목별 세부 연구개발 내용은 다음과 같다.

1. 모형실험 및 설계기준 도출

- 가. 다양한 정치망어구의 실태조사 및 자료 수집을 통해 다양한 정치망을 컴퓨터로 설계하는데 기초 자료를 제공
- 나. 모형실험을 통한 수증형상과 장력을 분석하여 어구설계 및 해석의 기초 자료로 활용
- 다. 실제 정치망이 설치된 해역의 조류와 영향을 직접 계측하여 어장환경을 분석하였고, 모형실험과 수치계산 조건에 적용함
- 라. 계류식 구조물에 대한 파랑에 대한 응답은 조파수조를 이용하여 실험을 실시하여 설계자료로 활용

2. 정치망 설계 및 해석시스템 개발

- 가. 정치망 어구에 대한 운동방정식은 유연구조물을 유한개의 요소로 분할하여 각 요소(절점)들이 탄성이 있는 줄로 연결된 시스템으로 근사하여 모델을 기술
- 나. 운동방정식은 각 요소에 작용하는 관성력, 저항, 양력, 부력, 침강력, 파랑 및 탄성력을 고려하여 강성 비선형 미분방정식의 형태로 기술
- 다. 비선형의 강성이 큰 시스템의 동적 해석에 적용될 수 있는 수치계산 기법으로서 음공식(implicit)을 이용한 수치계산기술을 개발
- 라. 간단한 구조의 정치망에 대해서 유속과 파랑에 대한 응답을 계산하였고, 파랑과 유속이 동시에 작용하는 경우도 안정적인 계산이 가능한 알고리즘 개발

3. 정치망 설계도면 작성 프로그램 및 3차원 그래픽 해석 시스템 개발

- 가. 설계도면 작성 프로그램은 Window 2000 운영체제 기반에 Visual Basic 6.0 환경에서 개발
- 나. 설계도면 작성 시 정치망 어구 구성에 사용되는 망지, 로프, 뜸, 침자 등의 요소의 규격을 키보드와 마우스를 통하여 입력하고 입력된 각 요소들을 어구재료 데이터베이스와 연동하여 설계도에 포함된 모든 망지와 속구의 속성이 시뮬레이션을 위한 자료로 자동 입력되도록 하였음
- 다. 여러 종류의 정치망 어구를 설계할 수 있고, 어구의 각 부분별로 복사, 지우기 및 붙이기

등 최근 윈도우 프로그램에서 일반적으로 사용하는 기능들을 구현하여 손쉽게 정치망 설계가 가능하도록 하였음

라. 3차원 그래픽 해석 시스템은 Visual C++ 6.0 기반의 OpenGL 환경에서 개발

마. 정치망을 구성하는 망지를 표현하기 위해 망지매듭(절점)을 기하학적 정점(vertex)으로 간주하고 각 정점들을 수치 계산 결과에 따라 3차원 공간상에 배치한 후 망지와 각 부속구들을 발줄로 연결하는 3차원 정치망 모델을 확립

바. 실시간으로 표현되는 정치망의 3차원 형상 분석을 통해 유속 및 파랑의 크기에 따른 정치망 어구의 형상을 파악할 수 있으며, 망지와 명줄에 작용하는 장력의 변화를 모니터링 할 수 있도록 함

제 2 장 모형실험 및 설계기준 도출

제 1 절 정치망 어구조사

우리나라 전 연안에 허가되어 있는 정치망 어업은 면허건수로는 약 640건, 어획량으로는 약 5~6만톤에 달하는 중요한 어업이다. 정치망의 주 어획대상 어종은 삼치, 갈치, 방어 오징어, 병어, 고등어, 멸치 등의 회유성 어종은 물론 일부 정착성 어종까지 다양하나, 어구 안으로 유도되어 들어온 어군만을 어획하게 되므로 다른 적극적 어법에 비하여 자원 남획의 우려가 적다.

본 연구에서는 정치망어구와 어장에 대한 현장 정밀조사로서 1차 조사에서는 정치망어구가 설치된 해역의 조류와 조석에 따른 유향 유속을 계측하였고, 회류수조에서의 모형실험을 통하여 유향과 유속에 따른 모형망의 형상 변화와 대뜸의 명줄에 작용하는 장력을 측정하고 실제 어장에서의 조류에 따른 어구변형의 정도를 추정하였다. 2차 조사에서는 유향 유속 계측 및 정치망 주변의 파고와 어구에 걸리는 힘을 측정하였다. 또한, 이러한 실험을 통하여 현용 정치망의 구조적 문제점을 해결하기 위한 설계의 기준을 모색하고, 정치망 어구 설계 및 해석도구 개발의 기초자료로 사용하였다.

1. 조사대상 정치망

본 연구에서는 남해 및 동해의 주요 정치망에 대하여 현장조사 및 문헌조사를 실시하였고, 조사된 정치망 중 실험의 모델이 될 수 있는 정치망을 선정하여 정밀조사를 실시하였다. 정밀조사된 정치망은 남해에서는 경남 거제 장승포와 능포연안에 부설된 정치망이고, 동해의 정치망은 남해와 유사한 낙망 형태의 것이 대부분이었으므로 다른 형태의 어구와 조업방법을 갖는 정치망으로 강원도 대진 연안의 고리테 형태 정치망에 대해서 어구와 조업방법에 대한 조사를 실시하였다.

남해의 조사대상 정치망으로는 경남거제의 능포 연안과 장승포 연안에 부설되어 있는 것 (Fig. 2.1.1.)으로, 어군의 도피방지를 더욱 확실하게 하기 위하여 비탈그물과 원통을 2중으로 설치한 2중편낙망이다. 이는 헛통의 한쪽에만 2개의 비탈그물과 원통이 있는 것으로 편낙망에 비

해 어군이 되돌아 나가기 어렵도록 한 것이다. 주 대상어종은 멸치로서 일반적인 낙망류에 비해 그물코의 크기와 규모가 작은 소대망이다. 그물감의 재질은 나일론사가 주를 이루며 부설은 길그물을 육지 쪽에서 바다 쪽으로 하여 입구가 육지쪽을 향하며 닻으로 사개를 고정 부설하고 여기에 그물을 설치한다.

정밀조사의 대상이 된 정치망은 현재 경남 거제 수심 32m의 장승포 연안과 수심 25m의 능포연안에 부설되어 있는 어구로서 장승포 연안의 정치망은 운동장부터 원통까지 길이가 238m, 허릿줄 폭이 41m, 길그물의 전장이 590m인 이중 편낙망이고, 능포 연안의 정치망은 원통길이 145m, 허릿줄 폭이 37m, 길그물 길이 500m인 이중 편낙망이다(Fig. 2.1.2. (a), (b)).

(a)



(b)



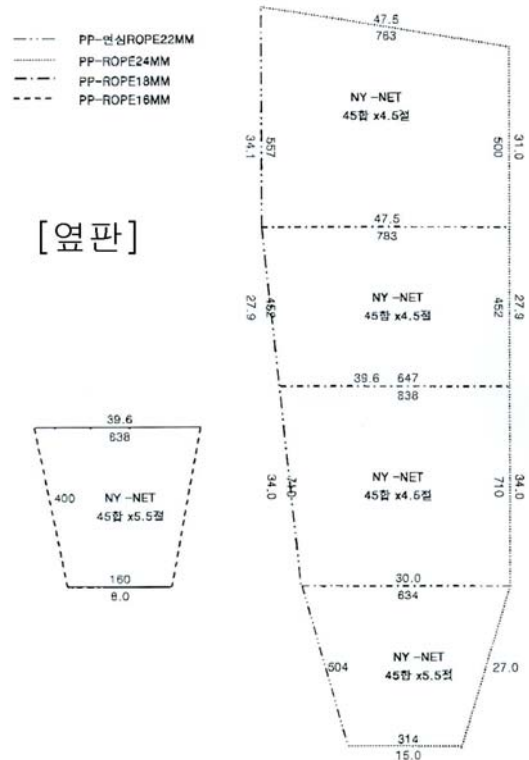
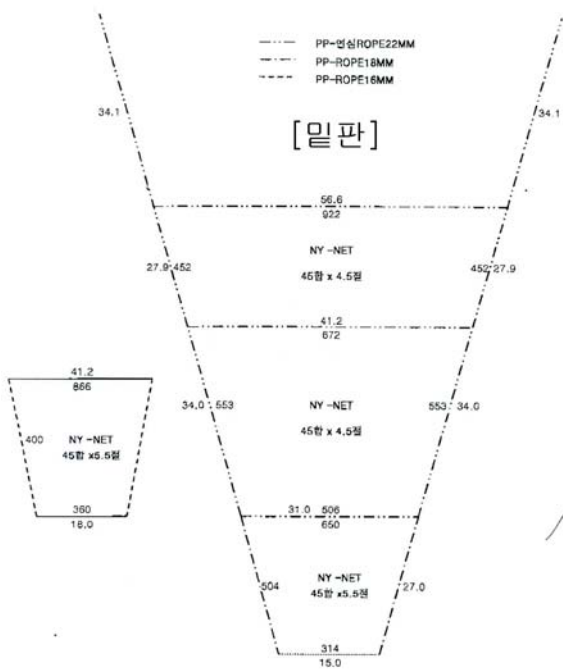
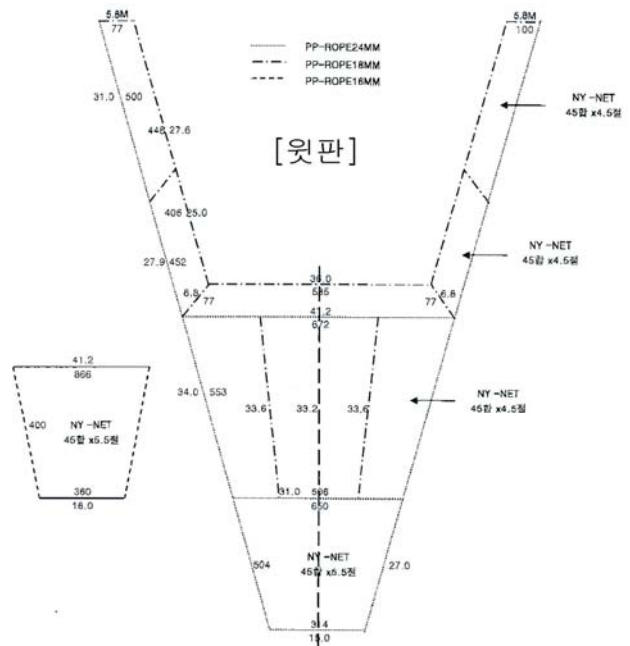
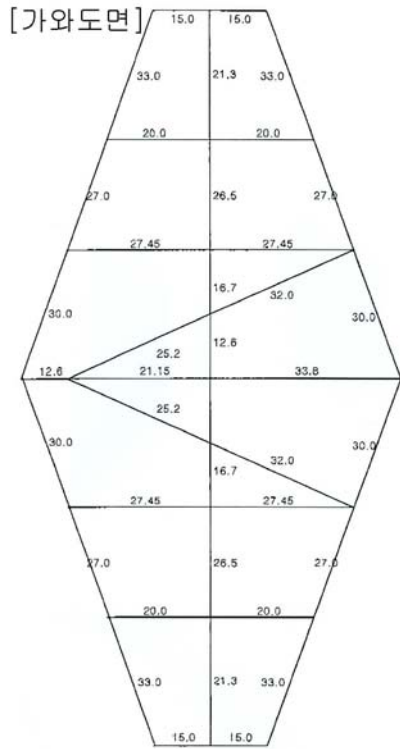
(c)



Fig. 2.1.1. Experimented and researched fishing ground of the pound nets.

(a) Jangsung-Po, (b) Nung-Po, (c) DaeJin

(c)



(Continued) Fig. 2.1.2. Drawing of the developed pond nets.

(c) DaeJin

2. 어장환경 정밀조사

정치망은 그 기본 형태가 같더라도 어장 수심과 해·조류의 세기에 따라 그 부설방법과 규모가 달라진다. 여기서는 1차로 현용 정치망 어장에서의 유향 및 유속 분포를 측정하여, 현용 정치망 어장의 일반적인 어장환경 특성을 파악하고, 2차로 정치망 어구 주변의 파고와 어구에 걸리는 장력을 추가로 측정하였다. 이것은 모형실험에서 어장환경의 정확한 적용방법을 도출하는데 필요한 기초 자료 제공 및 정치망 어구 해석 시스템 개발의 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

가) 실험 장치 및 방법

현장에서의 유향 및 유속 측정실험은 장승포 연안 정치망 어장에서 2004년 12월9일부터 12월 22일까지 14일간, 그리고 2006년 6월 29일부터 7월 8일까지 10일간 두 척의 배를 용선하여 실시하였다. 유향 및 유속은 자기기록식 다층 도플러 유속계(Acoustic Doppler Current Profiler(ADCP), RDI, USA)와 디지털 전자 유속계(Electromagnetic Current Recorder, Compact-EM, Japan)를 사용하여 측정하였다(Fig. 2.1.3. (a), (b)). 유속은 정점위치에서의 유향 및 유속과 정치망 어구내부의 지정한 위치별 유향 및 유속을 각각 측정하였으며, 측정수심은 수면에서부터 저질까지 1m 간격으로 유향 및 유속을 측정하였다.

정점위치에서의 유향 및 유속측정은 Fig. 2.1.4.의 ⑥점에서 24시간 중 매일 2회 위치별 유속측정시를 제외한 매 2분마다 1개의 유향 및 유속 데이터를 샘플링 하였으며, 정치망 어구내의 위치별 유향 및 유속 측정은 운동장 바깥의 A점, 운동장 안쪽의 B점, 창문망 쪽의 C점, 비탈그물과 제1원통 입구 사이의 D점, 제1원통의 E점, 제2원통의 F점과 제2원통 바깥쪽인 G점의 모두 7곳을 지정하여 매일 오전과 오후로 나누어 2회씩 측정하였다.

측정한 유향 및 유속 자료는 날짜별, 측정위치별로 유향 및 유속을 조석자료(국립해양조사원)와 비교·분석하였다.

파고의 측정은 압력식 파고 계측기(Wave height recorder, pressure type, AWH-16M, Japan)를 사용하여 계측하였으며, 정치망의 운동장 입구 쪽 사개줄 근처의 수심 약 18m의 바닥에 부설하였다. 측정시간은 매 60분마다 20분 계측으로 설정하여 실험 시작 시부터 종료 시까지 데이터를 샘플링 하였다.

어구에 걸리는 장력 측정은 대용량 수중장력계(Underwater tension meter, 5ton, 4MB, Korea)를 사용하여 운동장과 대뜸을 연결하는 로프에 발생하는 장력을 측정하였다. 측정시간은

매일 1회 0.5초마다 1개의 데이터를 기록하도록 설정하였다.

(a)



(b)



Fig. 2.1.3. (a) Acoustic doppler current profiler(ADCP) and (b) Electromagnetic Current Recorder used in the experiment.

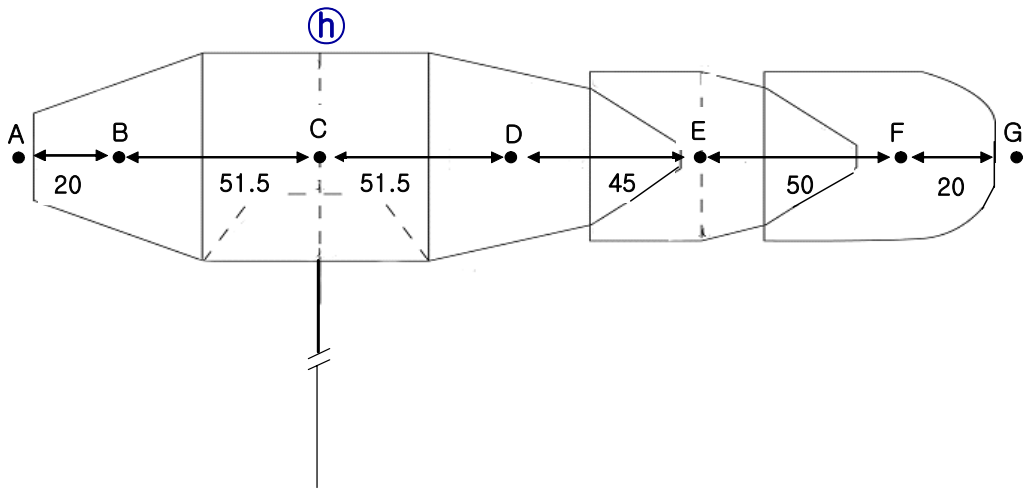


Fig. 2.1.4. Measurement points of current speed and direction in the pound net(unit : *m*).

A ~ G : Measure points, \textcircled{h} : Mooring measure point

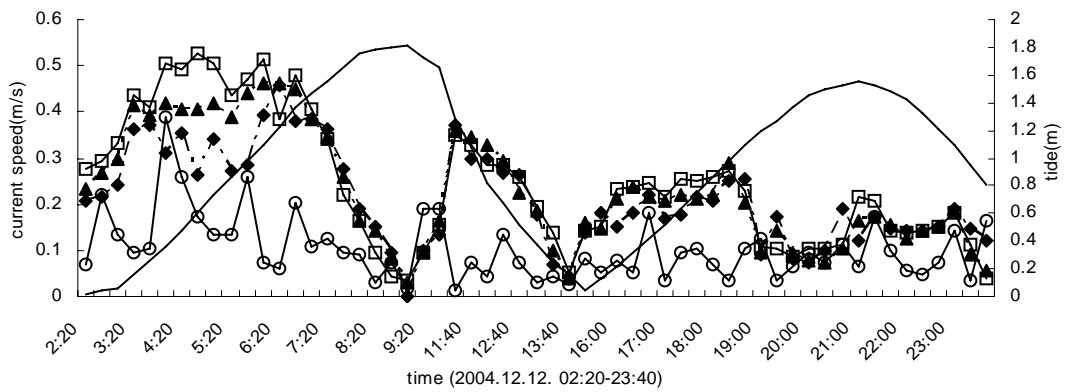
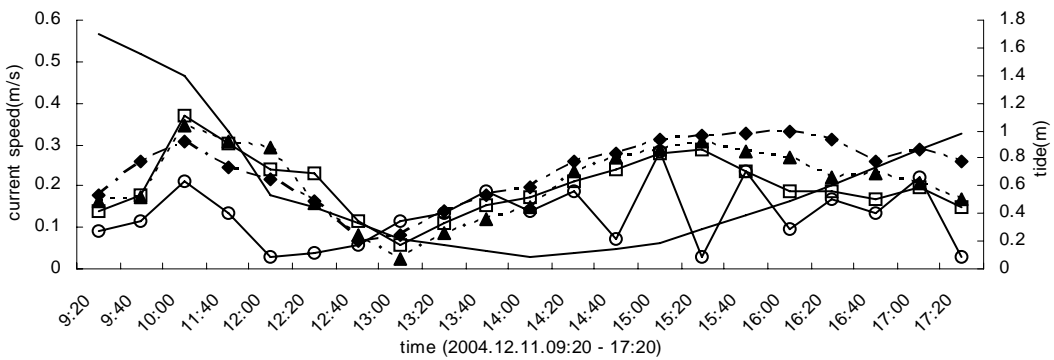
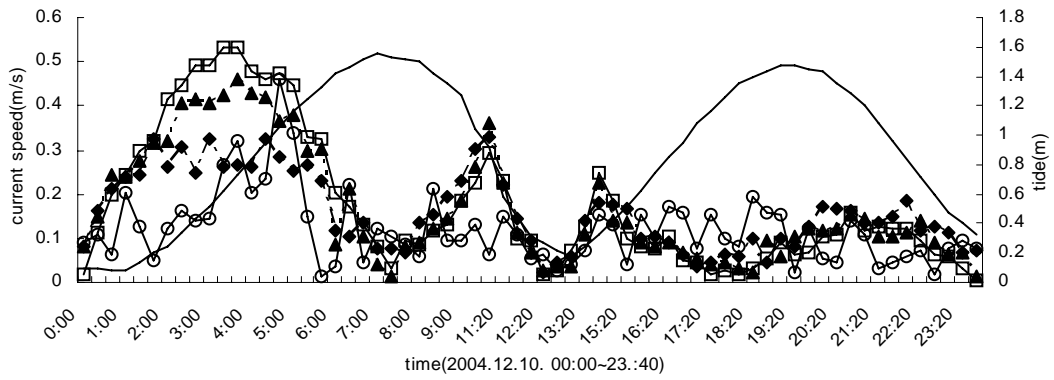
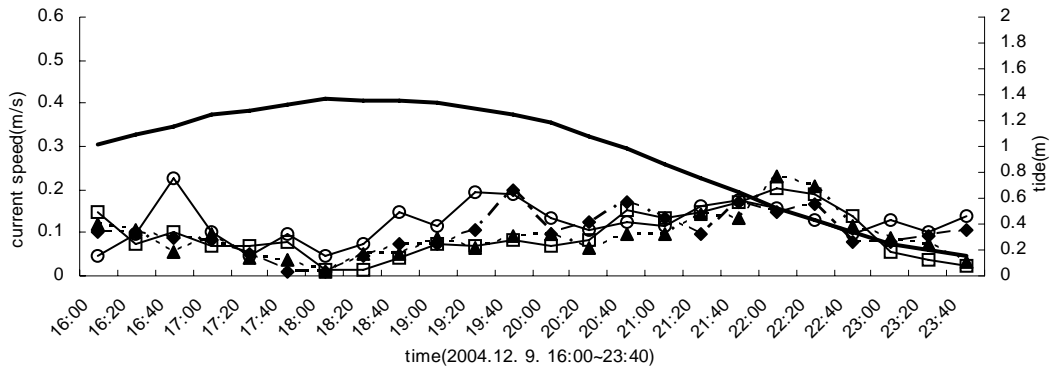
3. 어장환경 조사결과

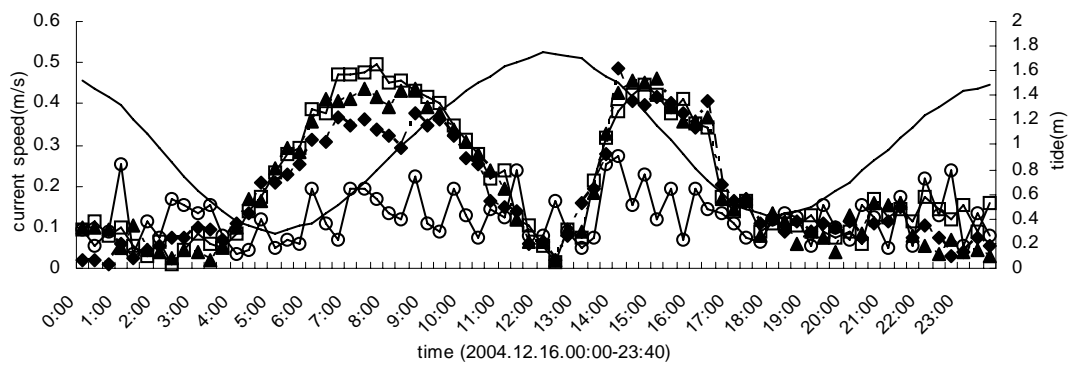
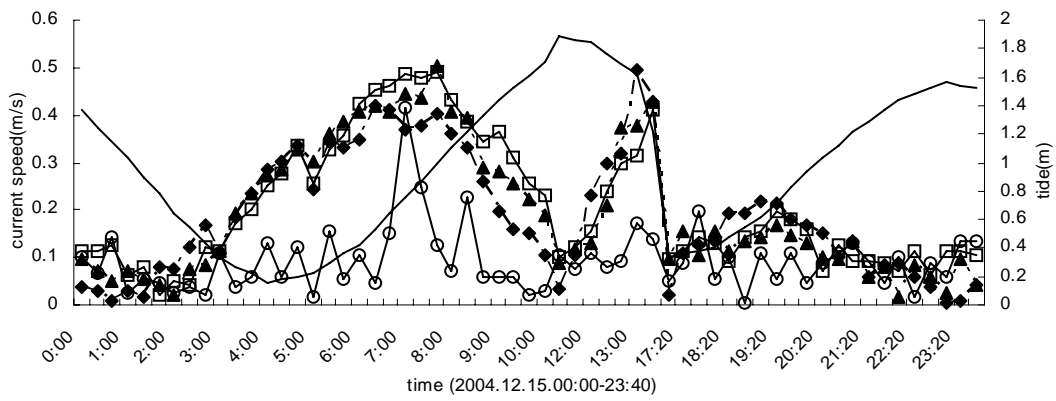
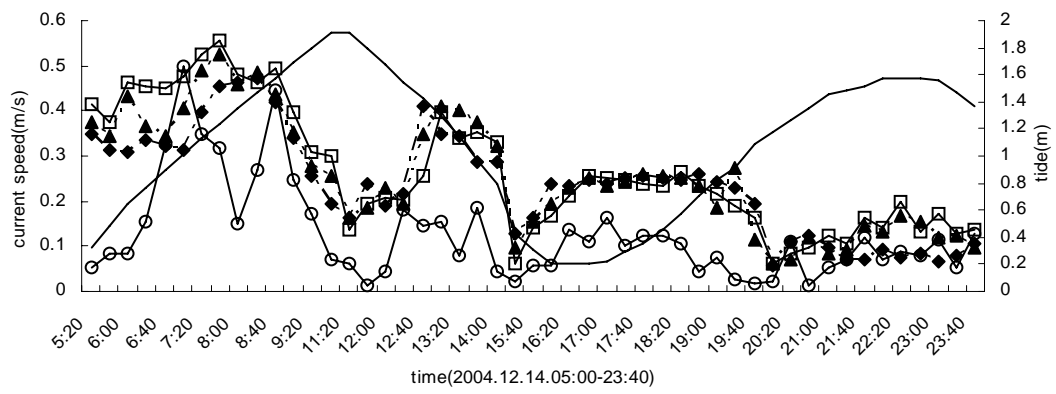
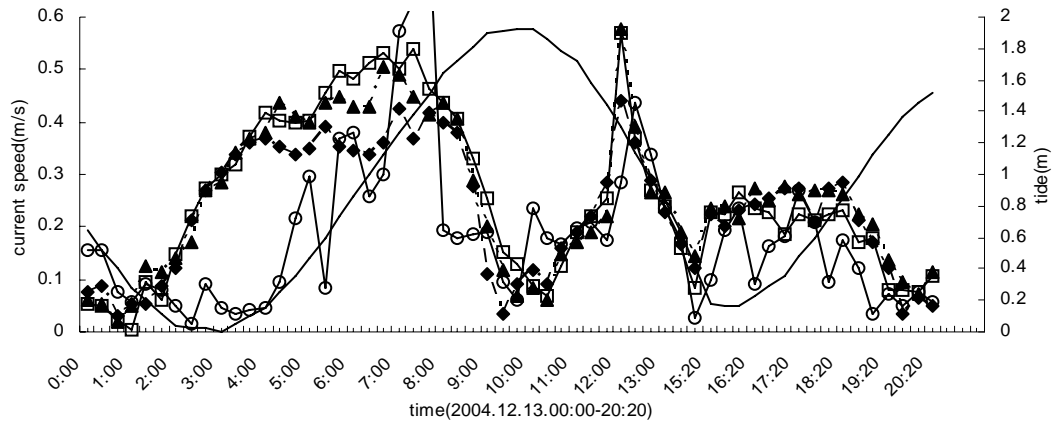
정치망 어장의 정점위치에서 날짜별 시간 변화에 따른 유향 및 유속변화를 조석 조석자료와 비교하였다.(Fig. 2.1.5., Fig. 2.1.6.)

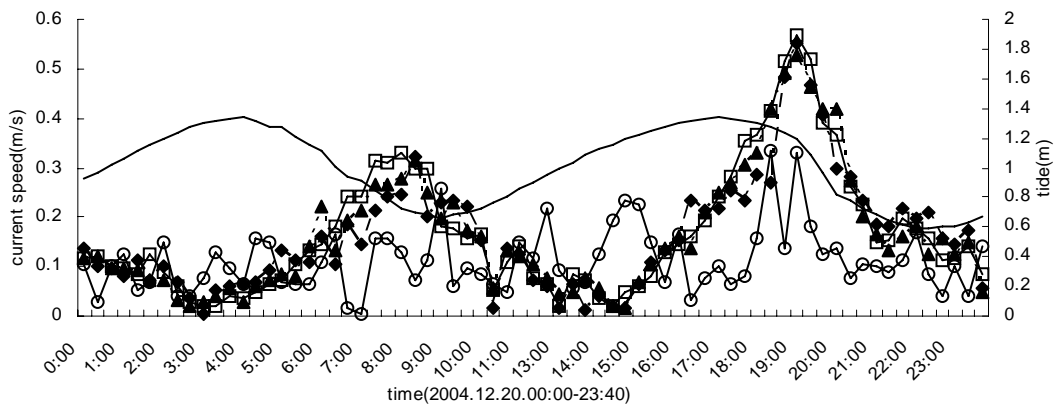
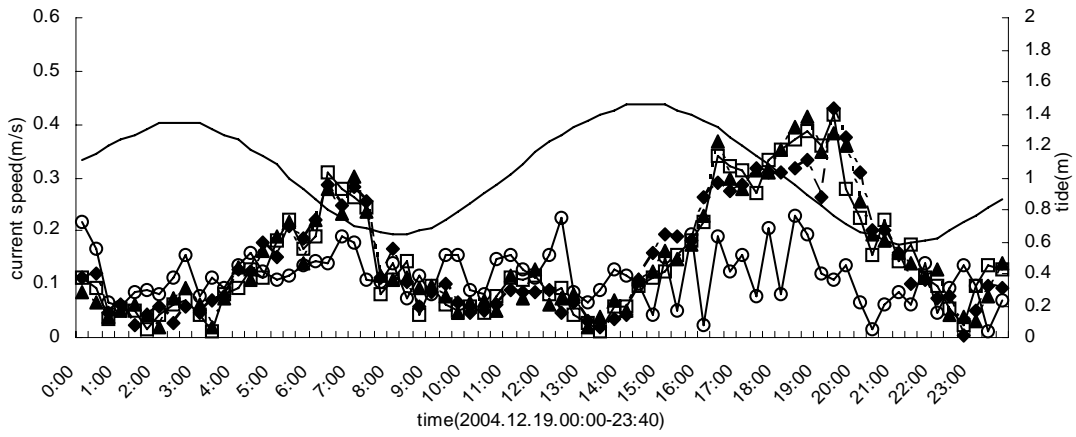
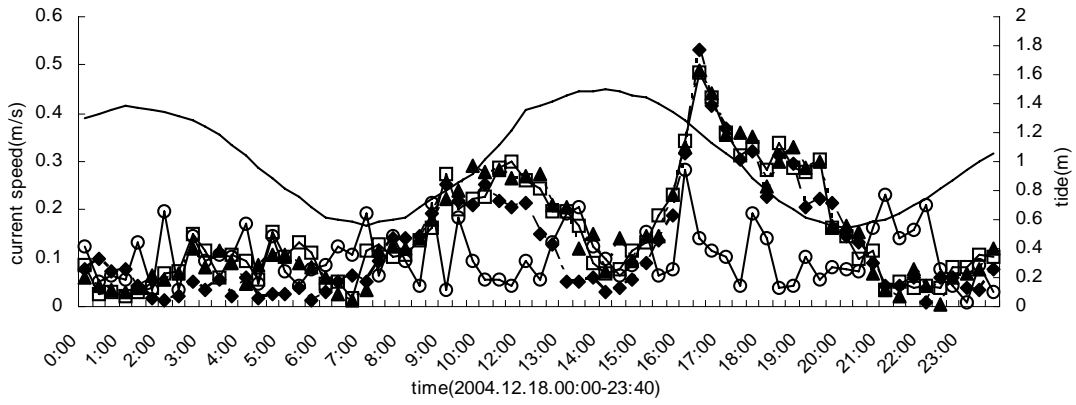
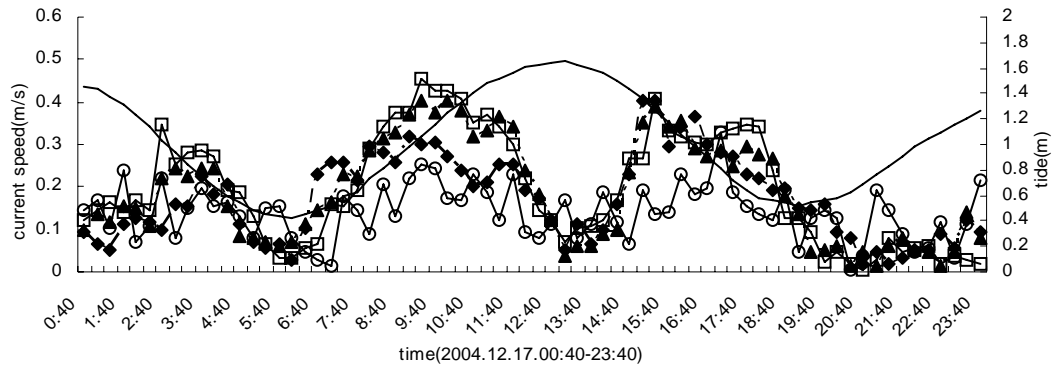
정점 위치에서의 시간에 따른 날짜별 유속의 변화는 간조에서 만조로, 만조에서 간조로 바뀌는 시간대에서 유속의 변화가 가장 크고 유속도 가장 빨랐으며, 이때 최대유속은 약 0.5~0.6m/s였다.

만조시와 간조시의 유속은 거의 0.1m/s 이하였다. 또한, 일반적으로 알려져 있는 조석 1주기 당 유속의 변화주기도 뚜렷하게 2회 나타났다. 그리고 수심 30m에서의 유속의 변화는 다른 수심에서의 유속변화에 비해서 다소 불규칙하게 변하고 있는데, 이것은 조사대상 정치망어장 주변의 평균수심이 약 30m인 것을 고려하면, 저질의 영향에 의해 유속이 불규칙하게 변한 것으로 판단된다.

또한 일반적으로 남해안의 정치망에서는 조류의 유속이 약 0.35m/s 이상에서는 어획성능이 급격히 떨어지는 것으로 알려져 있는데, 본 조사의 결과, 1일 24시간 중 0.35m/s 이상의 유속을 보이는 시간은 평균 10시간 이상으로 나타났다. 정치망 조업을 1일 1~2회 하는 것을 고려한다면, 현재 정치망 어구는 어장의 조류에 대한 변형이 심하여 어획의 부진 정도가 심할 것으로 판단된다.







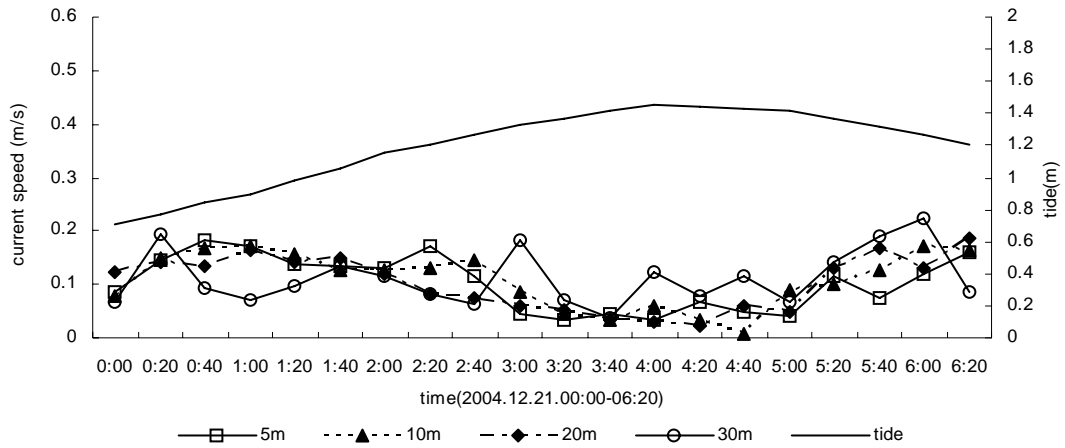


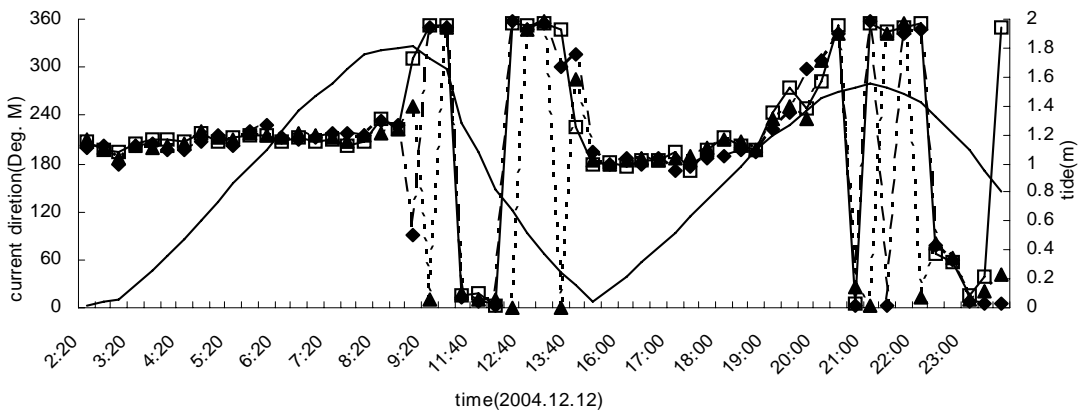
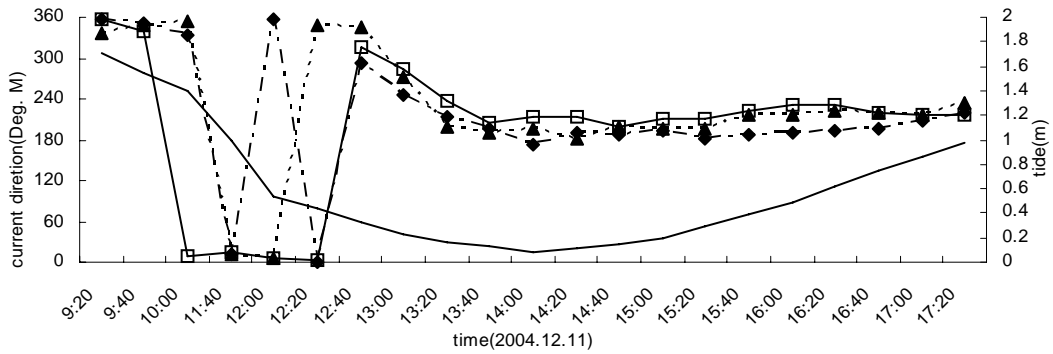
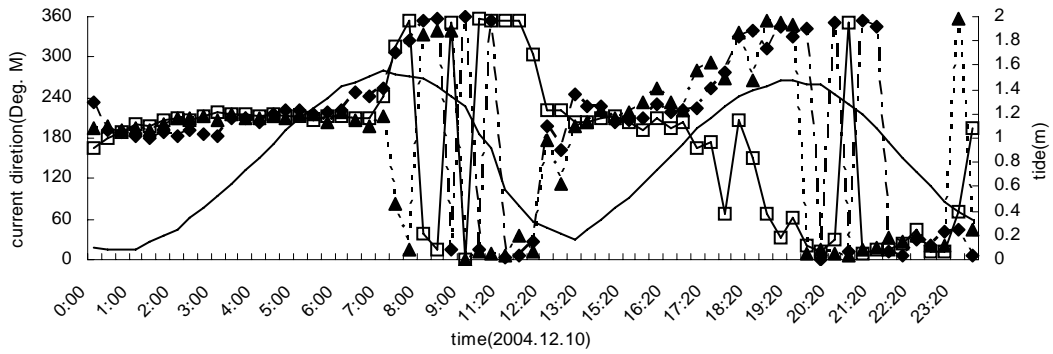
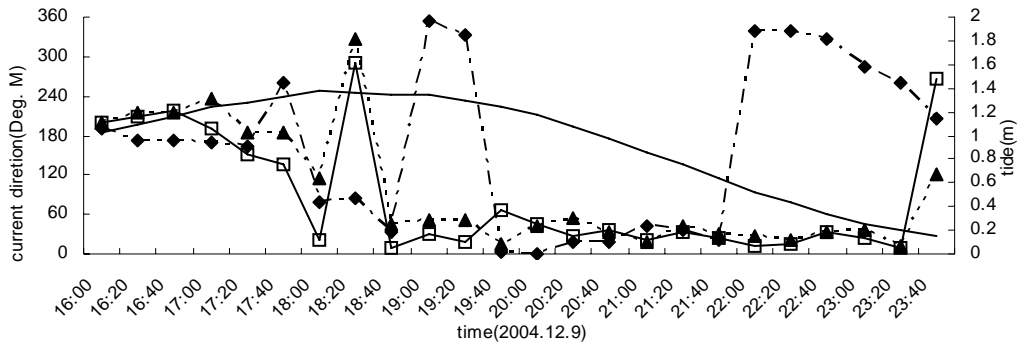
Fig. 2.1.5. Tide compared with current speed.

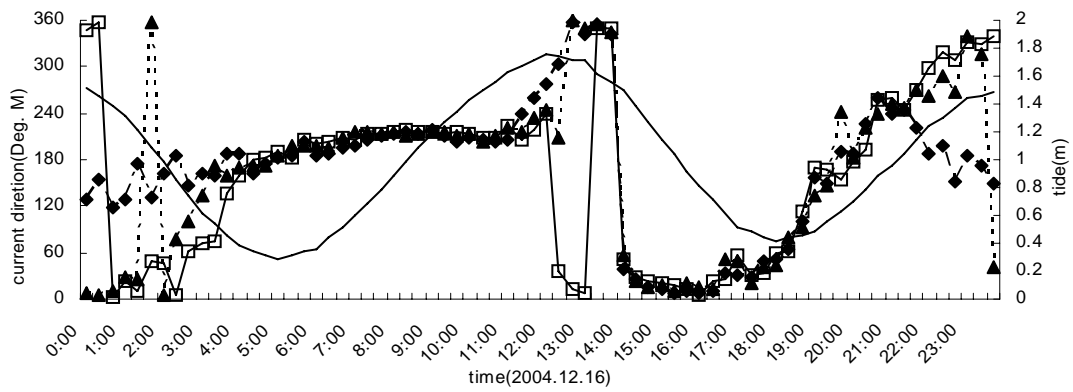
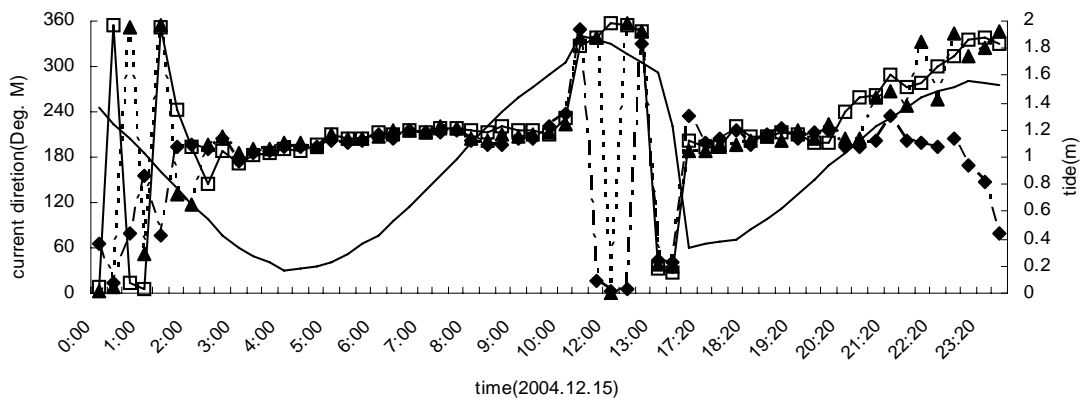
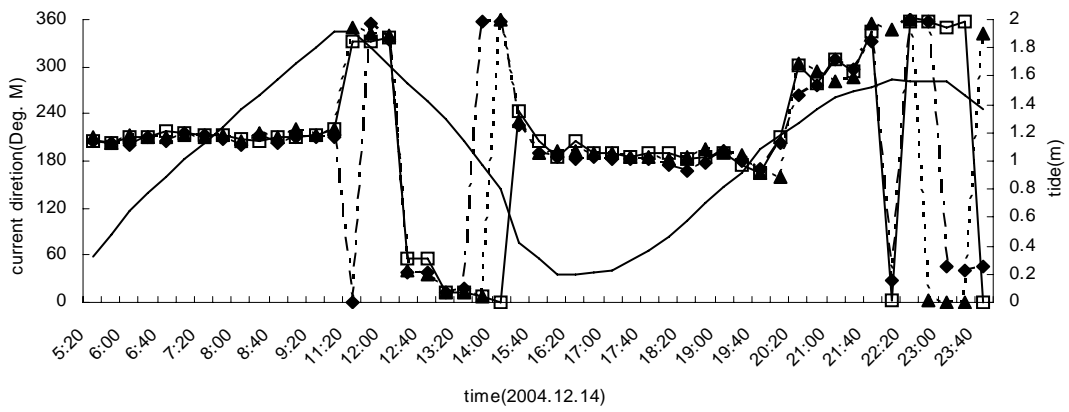
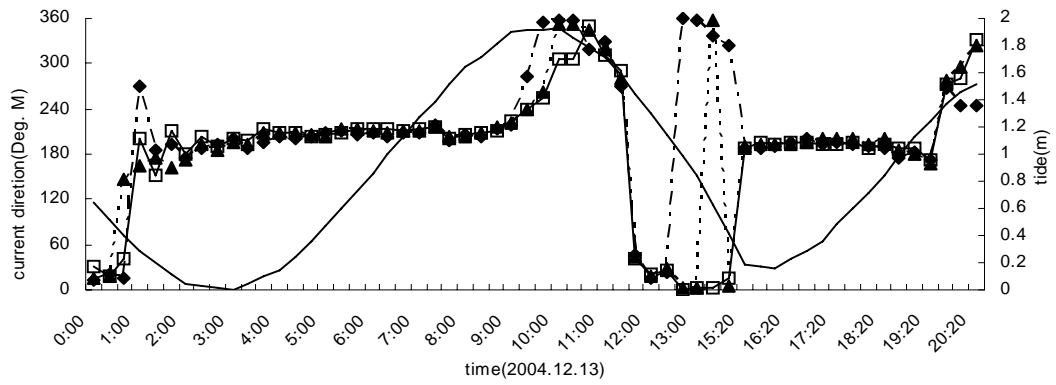
정점위치에서의 시간별 유향의 변화는 Fig. 2.1.6.에 나타낸 바와 같이 전체적으로 간조시에서 만조시로 변할 때의 평균유향은 190~210°로 남남서였으며, 만조시에서 간조시로 변할 때의 평균유향은 0~5°로 북북동이었다. 그리고 전체적으로 조류의 방향은 시계방향이었다.

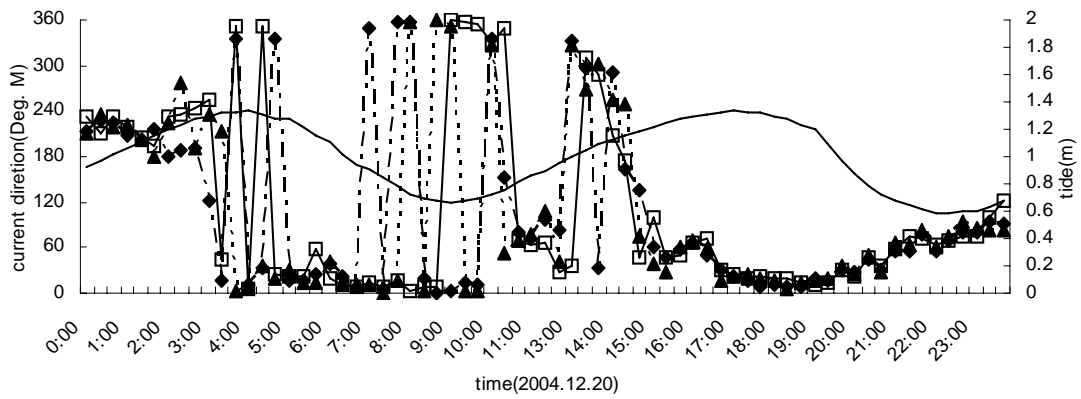
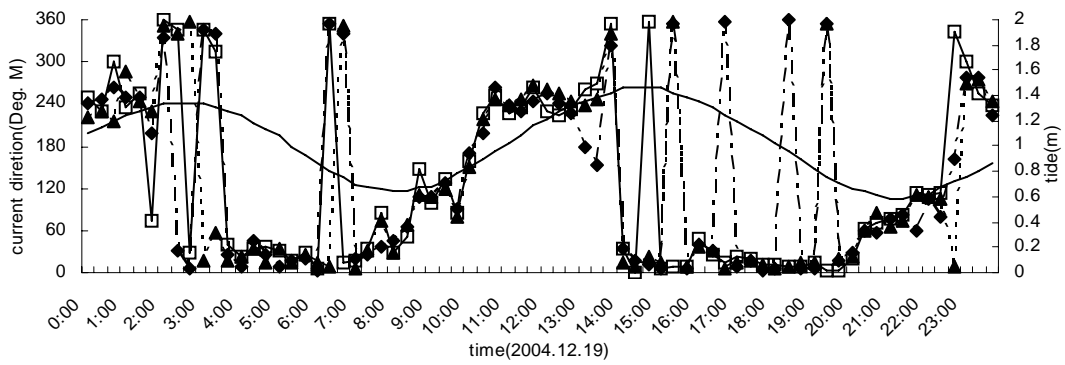
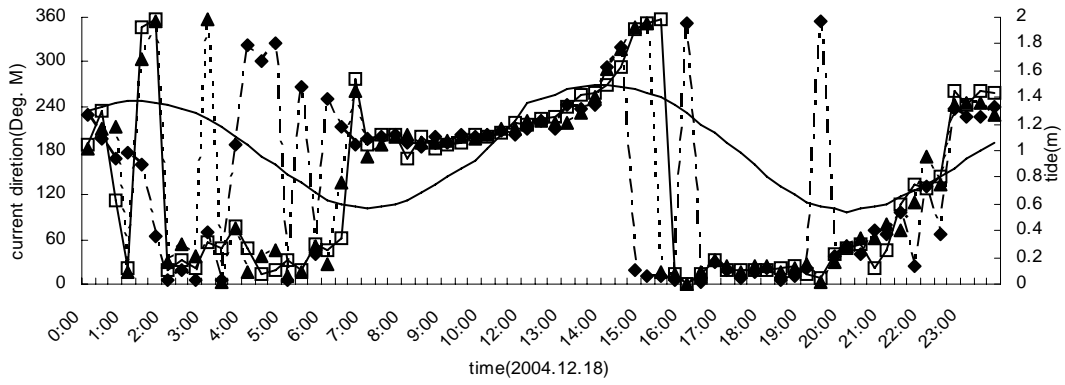
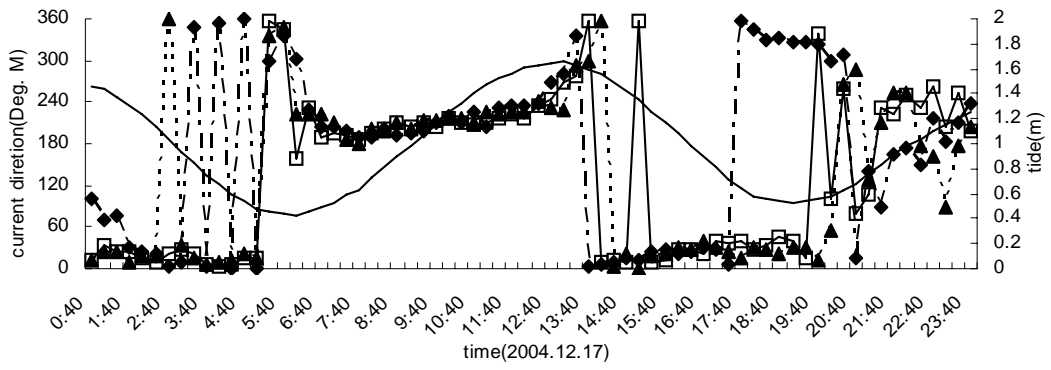
따라서, 간조시에서 만조시로 변하는 밀물 때에는 평균유향이 남남서이며, 이때의 최대유속은 약 0.6m/s였고, 만조시에서 간조시로 변하는 썰물 때에는 평균유향이 북북서이며, 이때의 최대유속은 약 0.45m/s로써 밀물 때와 썰물 때의 최대유속의 차이는 약 0.15m/s로 간조시에서 만조시로 변할 때가 더 빨랐다.

따라서, 시험어장에 부설되어있는 정치망어구의 운동장의 부설방향은 북북동(약 22.5°)이며, 원통의 부설방향은 남남서(약 205.5°)를 향하고 있는 것을 고려하면, 간조시에서 만조시로 변하는 밀물 때에는 조상측에 위치하는 운동장의 부설방향(약 22.5°)과 운동장이 조류와 조우하는 방향(약 20°)이 거의 일치한다. 그러나, 만조시에서 간조시로 변하는 썰물일 때는 조상측에 위치하는 원통의 부설방향(약 205.5°)과 원통이 조류와 조우하는 방향(약 185°)이 약 20.5° 정도의 편차로 외해 쪽으로 대각을 이룬다.

이상의 결과로 볼 때, 현용 정치망 어구의 조류에 대한 직접적인 영향을 받는 부분은 밀물 때에는 운동장, 썰물 때에는 제2원통임을 알 수 있다. 따라서 부가 중량추를 적용할 경우, 조류에 영향을 가장 직접적으로 받는 운동장과 제2원통 부분에 부착해야 할 것으로 판단된다.







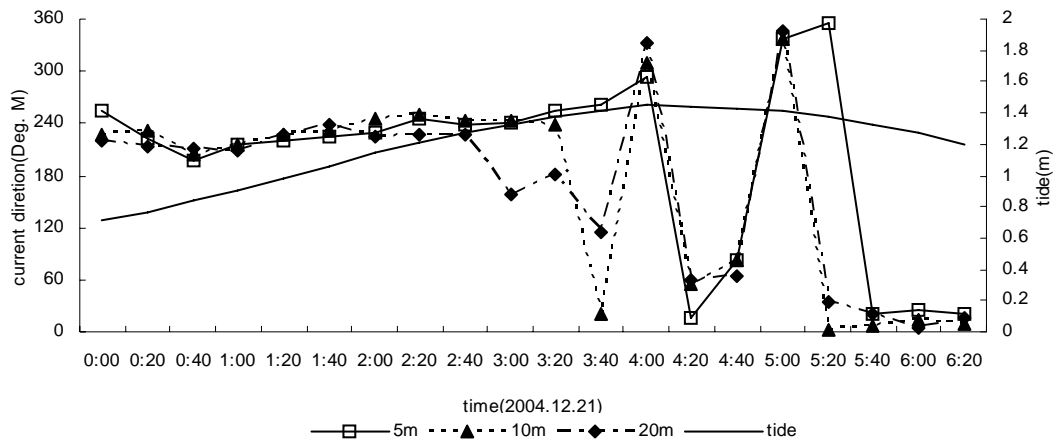


Fig. 2.1.6. Tide compared with current direction.

4. 정치망 내부의 측정 위치별 유향 및 유속 변화

정치망 어장 내의 위치별 유향과 유속의 변화를 Fig. 2.1.7.과 같이 날짜별로 나타내었다.

정치망내의 위치별 유속은 관측위치에 관계없이 A~G점 모두 만조시와 간조시에는 전체적으로 유속이 느리고, 만조시에서 간조시, 간조시에서 만조시로 변하는 썰물과 밀물 때에는 유속이 빠르게 나타났다. 그리고 정치망내의 위치별 유향의 변화는 정치망 밖의 정점위치에서의 시간대별 유향의 변화보다는 편차가 심하지만, 관측위치에 관계없이 밀물 때는 거의 190~210°로 남남서, 썰물 때에는 약 0~5°로 북북동 방향으로 정점위치에서의 유향변화와 거의 동일하게 나타났다.

그리고, 밀물과 썰물 때 정치망 어장 내의 관측위치별 유속의 편차는 다소 크지만, 썰물일 때는 Fig. 2.1.7.(2004년 12월 11일 10:29~11:17)의 측정결과에 나타난 것과 같이 원통이 조상측인 경우, 조류가 원통내부(G→E점)를 통과하면서 유속이 느려지다가 원통입구를 통과하여 비탈그물(D점)과 운동장 내부(C→B점)를 통과할 때는 유속이 다시 빨라지면서 회복되었다.

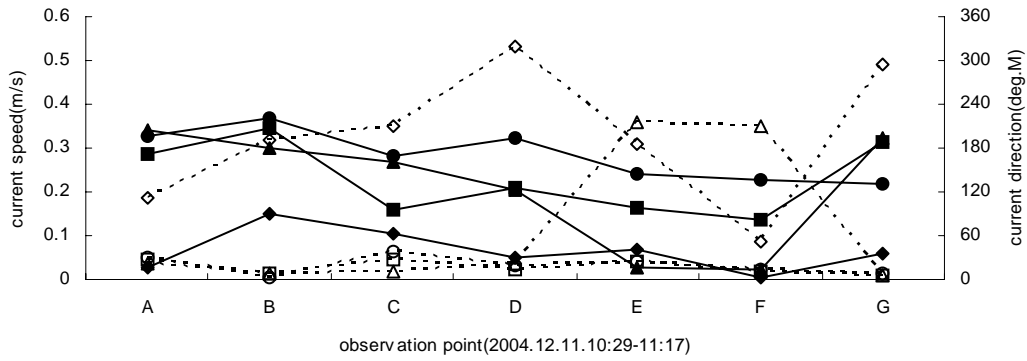
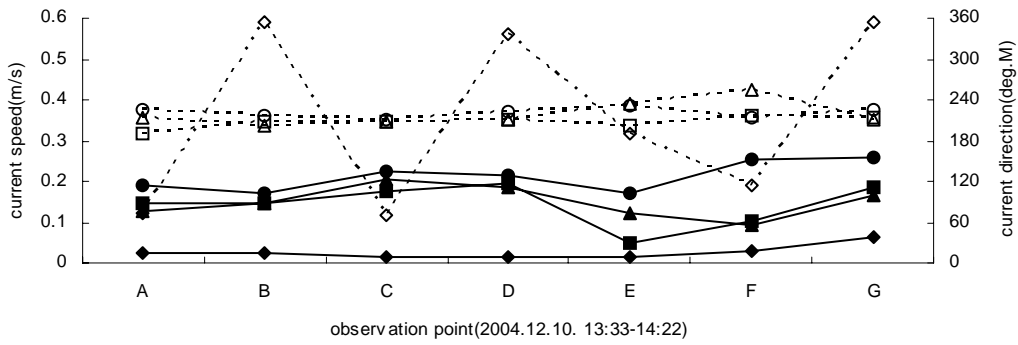
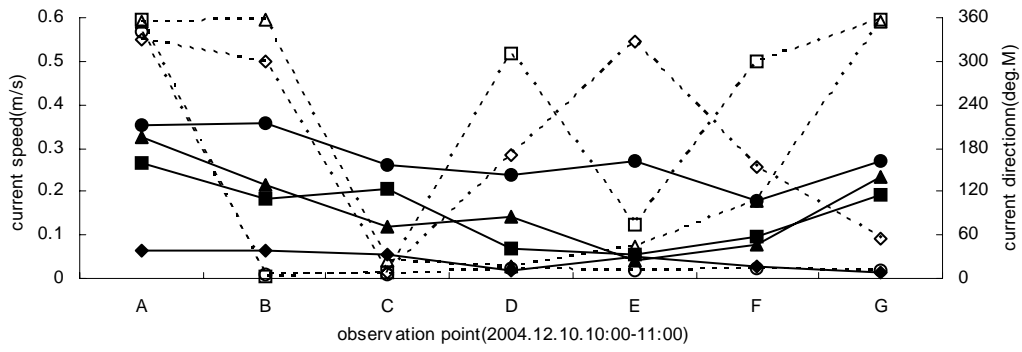
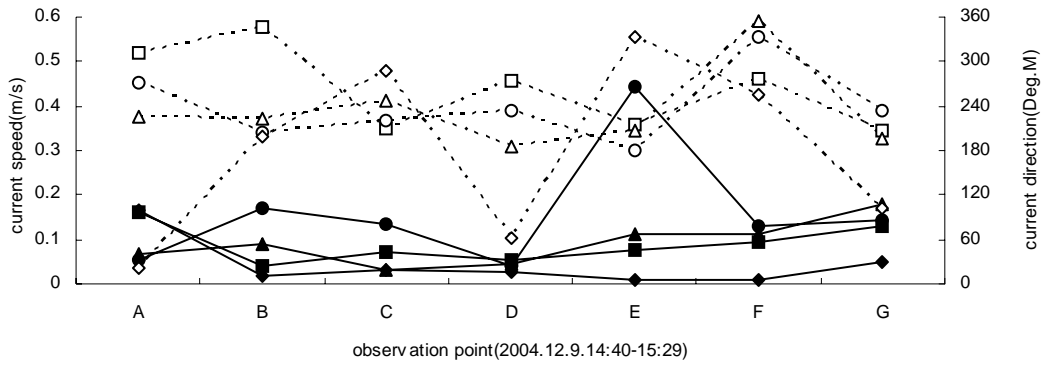
그러나, 밀물일 때는 12월 18일 10:42~11:24의 측정결과에 나타난 것과 같이 운동장 조상측인 경우 유속은 운동장(B→D점)을 통과하면서 완만히 느려지다가 제1원통(E점)과 제2원통(F점)에서는 유속이 급격히 느려지고 다시 제 2원통을 통과한 후는 유속이 다시 회복되는 경향을 보였다.

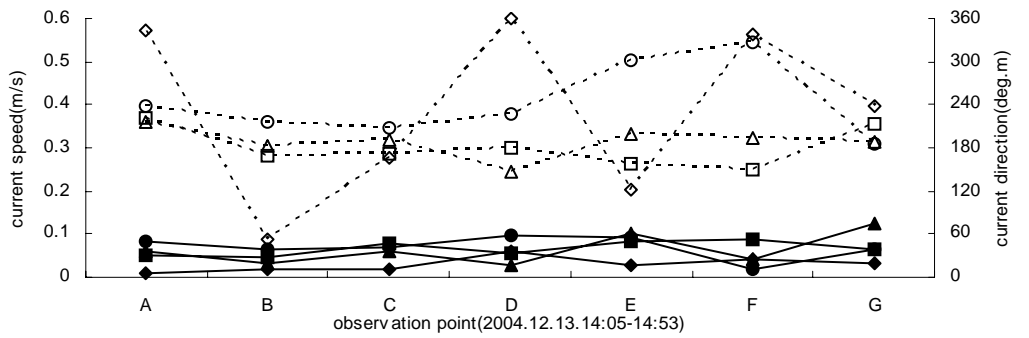
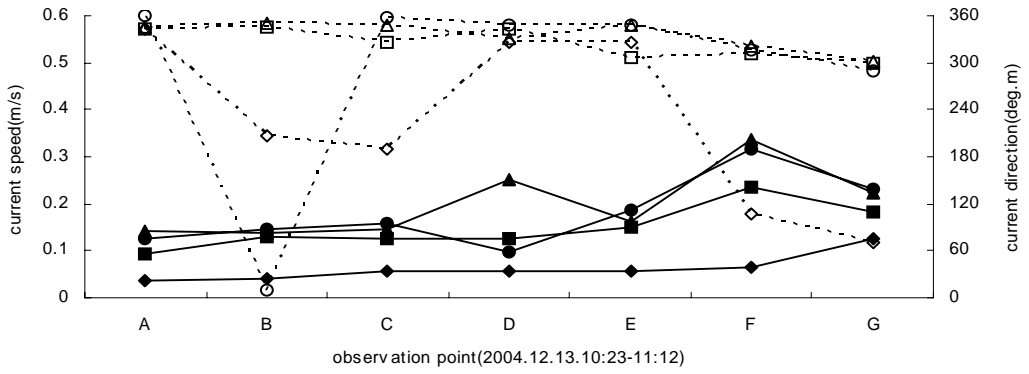
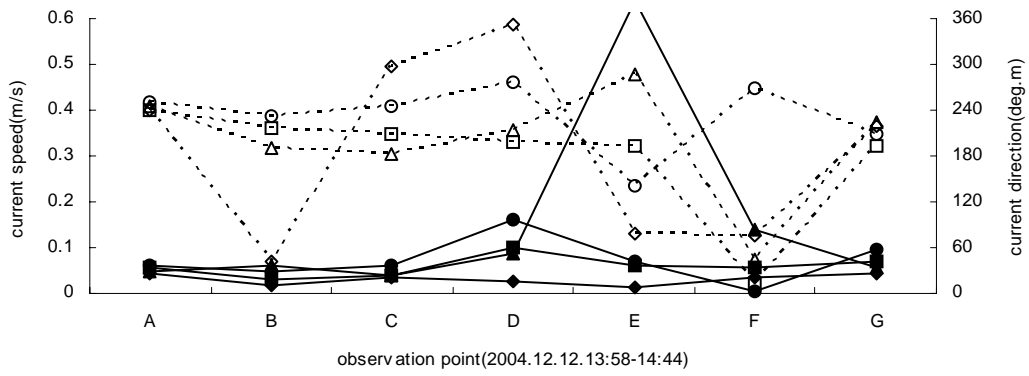
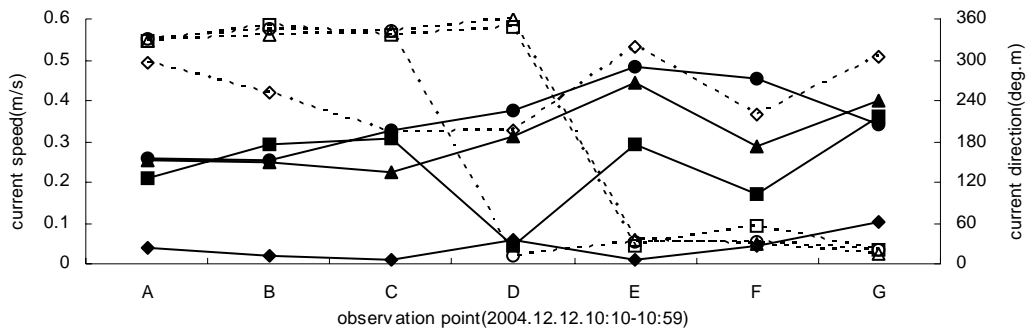
이것은 모형정치망 내의 위치별 유속변화의 측정결과와 편차는 있지만, 동일한 경향을 나타내었다.

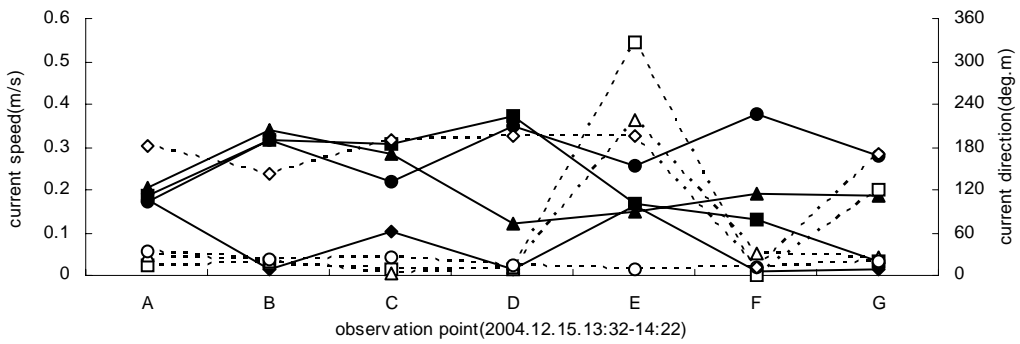
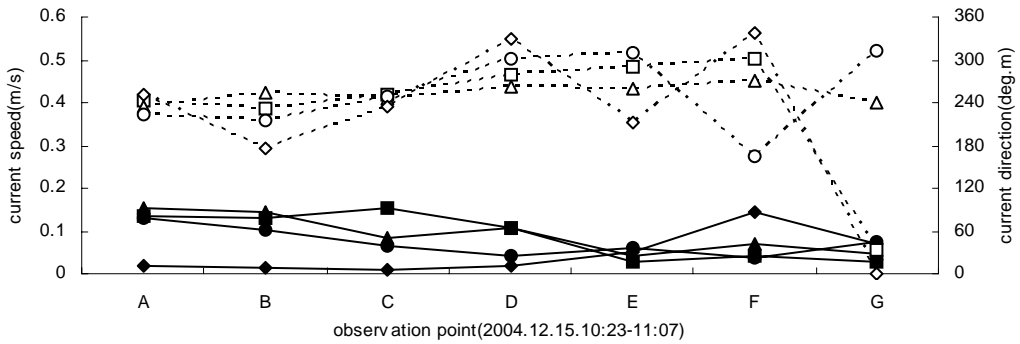
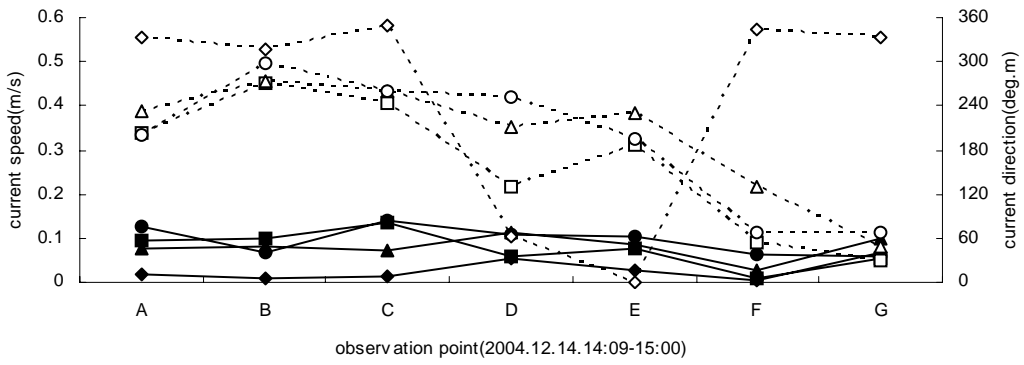
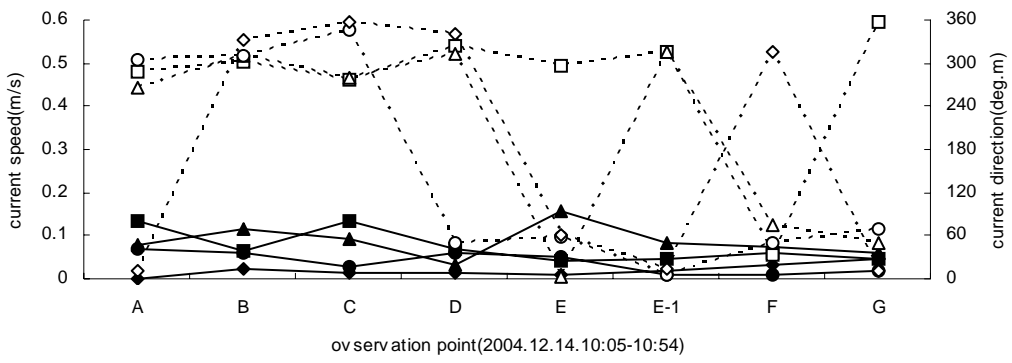
그러나, 12월 13일 14:05~14:53의 측정결과와 같이 유속이 상대적으로 느린 거의 정조시에 가까운 밀물과 썰물일 때는 정치망 내의 위치변화에 따른 유속차 및 정치망 내부와 외부의 유속차는 거의 없었다.

또한, 정치망 내부의 유향과 유속의 편차가 큰 이유는 정치망 내부의 그물자락의 날림에 의한 간섭의 결과인 것으로 판단된다.

이상의 결과에서, 정치망 내부를 흐르는 조류의 유속은 어구의 조상측이 조하측이 보다 상대적으로 더 빠르기 때문에 조류의 조상측 부분의 그물의 변형이 더욱 심할 것으로 판단된다. 따라서, 부가 중량추를 적용함에 있어서 조류의 조상측의 부분으로의 적용이 효과적일 것으로 판단된다. 또한, 조류의 유향과 정치망 어구의 부설 방향이 거의 일치하기 때문에 부가 중량추를 운동장과 원통의 전방 또는 망자락에 직접 부착하여야 효과적일 것으로 판단된다.







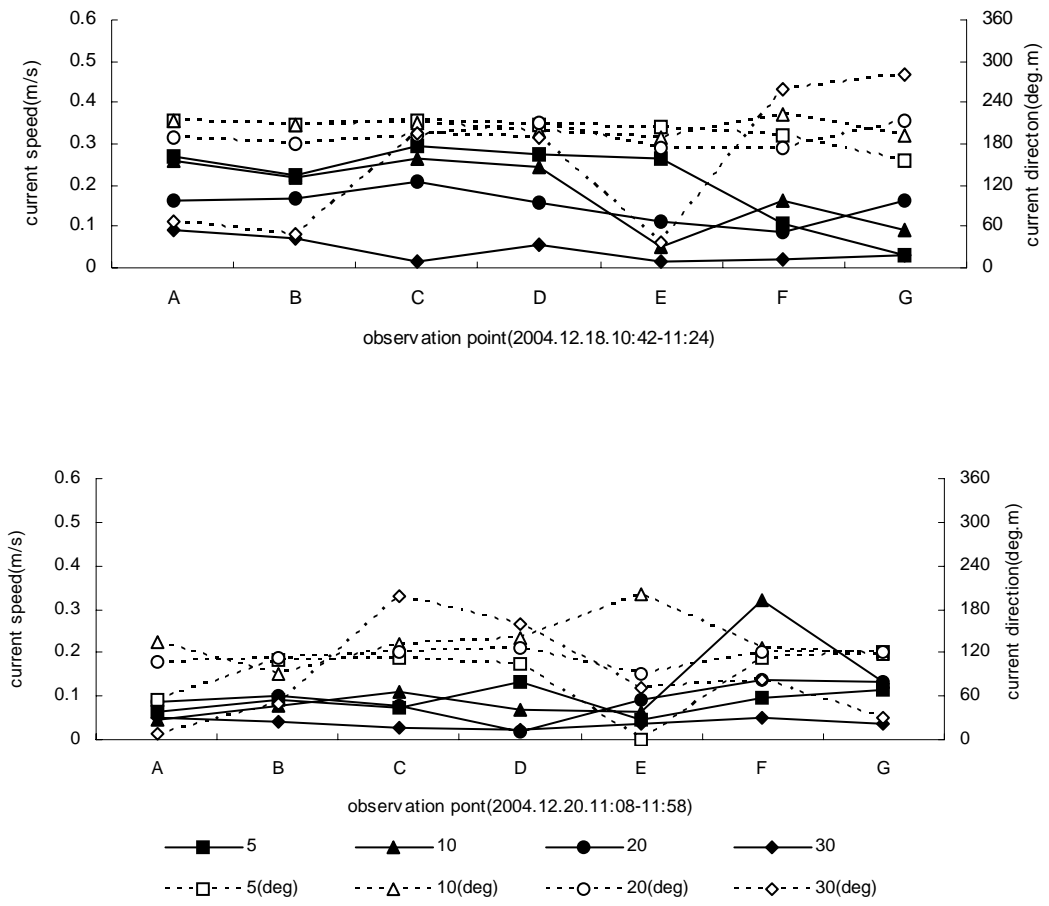


Fig. 2.1.7. Change of current speed and direction in observation points of the pound net(A~G : observation points).

5. 정치망어구 주변의 파고의 변화

정치망 어구 주변의 날짜별 시간의 변화에 따른 파고의 변화를 조석자료와 비교·분석하였다. Fig. 2.1.8.에 보이는 계측된 파고 자료는 유의파고로써 60분 동안 발생한 파도를 20분간 계측한 파고 중 높은 순서로 1/3에 해당하는 것까지의 파고들을 평균한 것으로 높은 파고의 평균적인 경향을 의미한다. 계측을 실시한 정치망 어장의 조석이 간조시에서 만조시로 변할 때 파고의 높이는 대체적으로 증가 하였고, 만조시에서 간조시로 변할 때 파고의 높이가 감소하는 경향을 보이고 있다. 계측된 파고 중 가장 높은 파고는 0.75m였고, 가장 낮은 파고는 0.12m를 기록했다. 조사기간 중에 높은 파도를 기록한 경우가 없었으나, 태풍이나 저기압이 내습할 경우에는 높은 파랑이 동반되므로 어구의 설계 및 설치에는 파랑의 영향도 고려하여야 한다.

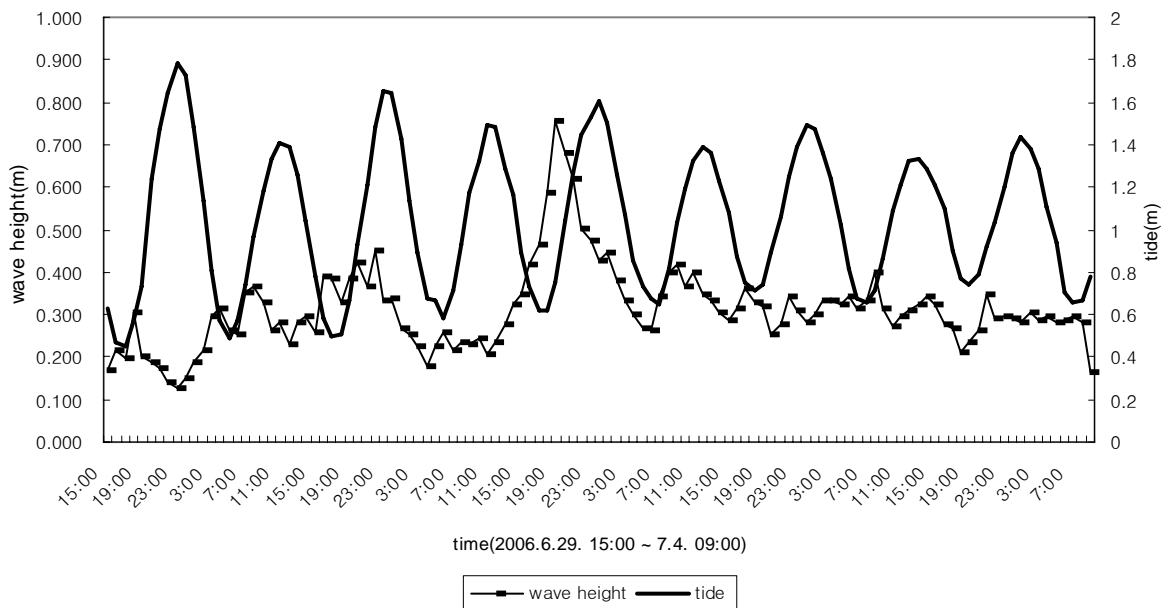


Fig. 2.1.8. Wave height compared with tide pattern.

제 2 절 모형실험 및 설계기준도출

1. 모형실험

정치망은 해면에 떠있는 뜬의 형상 및 침강 정도로 사용어구의 수중형상을 추정하고 있으며, 조류의 유향과 유속뿐만 아니라 기상악화 등은 그물의 변형을 일으켜 어구의 유실과 파망을 초래하기도 하며 이에 따라 어획실적이 좌우되는 등 조업에 상당한 제약을 준다.

그러므로, 이러한 급조류에 대하여 망형상을 유지하기 위한 방안을 도출하기 위해서는 먼저 조류에 대한 정치망 어구의 형상변화를 정확하게 파악하여야 한다.

따라서, 본 장에서는 앞 장의 실험 결과에서 얻은 실제 어장에서의 유향 및 유속의 범위를 고려하여 회류수조에서의 현용 정치망 어구의 모형실험을 실시하였다.

그리고, 모형실험을 통하여 조류의 방향과 유속에 따른 모형망의 형상 변화와 대뜸의 명줄에 작용하는 장력을 측정하고, 실제 어장에서의 조류에 따른 어구변형의 정도를 추정하였다.

또한, 모형 정치망 내부로 흐르는 유속의 변화를 계측하여 실제 정치망 어장에서의 유속변화와 비교·분석하였다. 그리고 이러한 결과를 근거로 현용 정치망 어구의 구조적 문제점을 도출하고 해결방안을 제시하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

가. 실물어구

본 실험에 사용된 실험어구는 현재 경남 거제 장승포 연안의 수심 31.5m에 부설되어 있는 어구로서 운동장부터 원통까지 길이가 238m, 허릿줄 폭이 40.5m, 길그물의 전장이 590m인 이중 편낙망이다.

나. 모형어구

모형어구는 실물어구를 상사법칙에 따라 1/100로 제작하였다. 실물어구 망지재료는 운동장과 비탈그물의 섯장이 PE(비중 0.99), 그 외에는 PA(비중 1.14)로 구성되어 있고, 모형어구의 망사는 실물망의 섯장 등에 사용된 PE계 망지가 경도가 큰 단일 섬유로 제작되고 있기 때문에 제작상 가늘고 유연한 PA계통의 Nylon 210D의 2합사, 3합사, 6합사로 구성하였다. 그리고 뜬 및 침자의 배치시에 망지의 경도와 비중의 차이를 조정하여 설계하였다.

상사법칙에 따라 실물망과 모형망의 관계는 다음과 같다.

$$\Lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{100}$$

$$\frac{d}{l} = 0.0357$$

$$V^2 = \frac{d_2}{d_1} = 0.2607$$

$$V = \frac{V_2}{V_1} = 0.511$$

$$F = \Lambda^2 V^2 = 0.2607 \times 10^{-4}$$

여기서 Λ 는 축척비, λ_1 과 λ_2 는 각각 실물과 모형의 각부치수, l 는 망목 한 발의 길이(mm), d 는 망사의 직경(mm), V 는 유속(m/s)의 비, 그리고 F 는 부력(kg), 침강력(kg), 유체저항(kg)의 비이다. 모형어구의 각부치수는 Fig. 2.2.1.과 Table 2.2.1.에 나타내었다.

Table 2.2.1. Specification of the model net for used in the model experiment.

Part	ply	mesh size (<i>mm</i>)	opening length (<i>cm</i>)	total length (<i>cm</i>)	length of sand bag line (<i>cm</i>)
A	6	19	75		
B	6	15	75		
C	3	9	45	255	120
D	2	4	60		

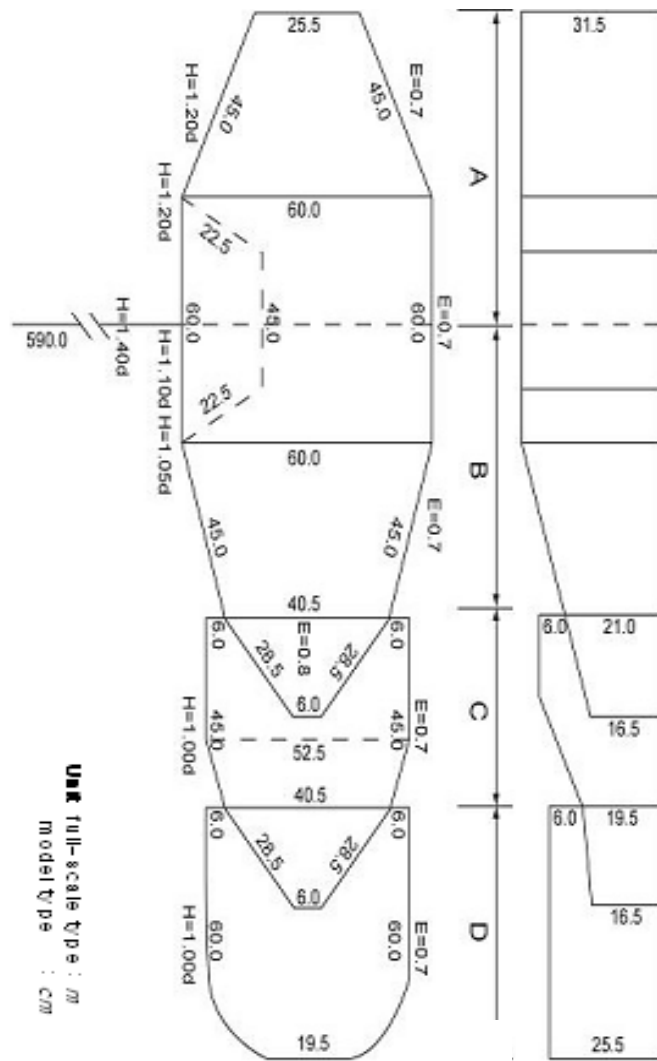


Fig. 2.2.1. Drawing of the developed pound net.

다. 실험수조 및 장치

실험에 사용한 수조는 부경대학교의 수직순환형 회류수조로써 Fig. 2.2.2와 같이 규격은 전체가 10,200(L)×2,800(W)×3,200(H)mm이며 관측부는 6,000(L)×2,200(W)×1,400(H)mm이다. 유속은 컴퓨터로 제어가 가능하며 유속범위는 0.02~1.2m/s이고 유속편차는 1.0m/s에서 ±4%이다. 실험 시 유속은 프로펠러식 유속계(KENEK, VOT 2-200-20)를, 장력은 로드셀(동경측기연구소, TCLZ-10KA, 용량 : 10kgf, 정격출력 : -1498.3, +1497.5μV/V)을 사용하였으며 망형상변화는 Digitizer와 Digital camera(Sony DSC-707)를 사용하여 측정하였다.

수조 내의 모형어구 설치는 Fig. 2.2.3와 Fig. 2.2.4에 나타낸 바와 같이 실물어구의 부설 수심이 약 31.5m인 점을 고려하여 수조 내에 5,000(L)×1,400(W)×1,200(H)mm의 설치대를 제작하여 수조바닥으로부터 885mm 위치에 설치하였다.

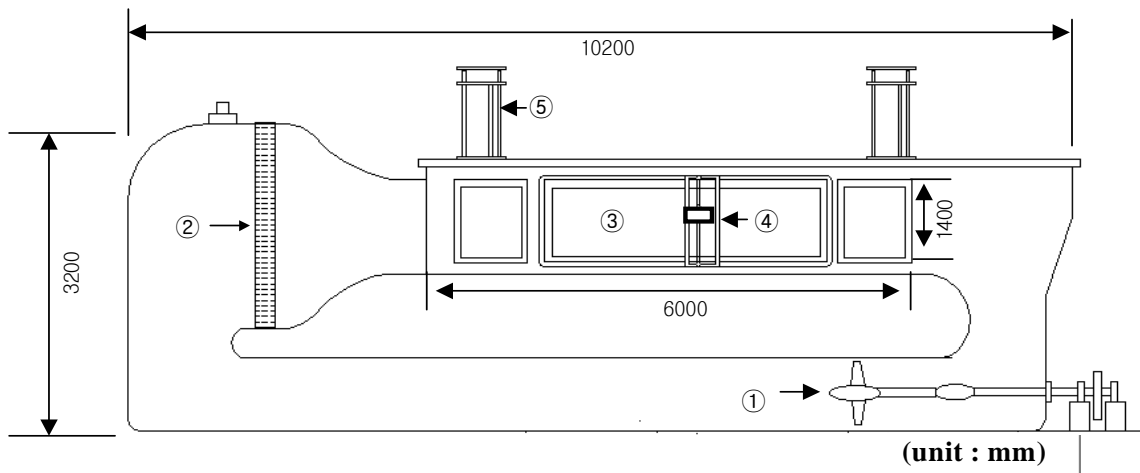


Fig. 2.2.2. Schematic drawing of the circulating water channel.

- ① impeller ② honey comb ③ observation windows
- ④ digitizer ⑤ traverse

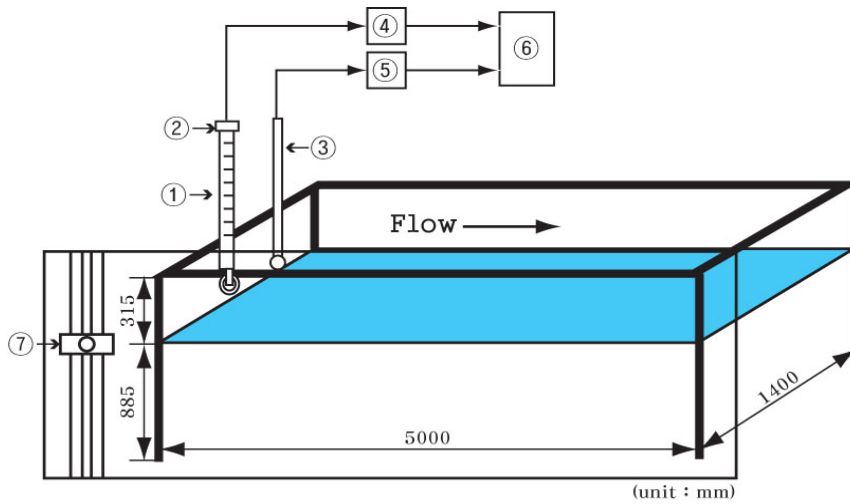
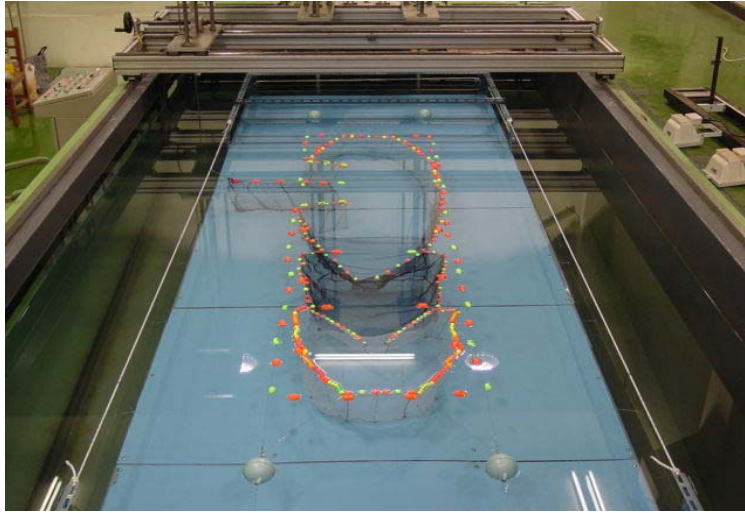


Fig. 2.2.3. Schematic drawing of the experimental equipments.

① sward ② load-cell ③ current meter ④ amplifier

⑤ current indicator ⑥ personal computer ⑦ digitizer

(a)



(b)

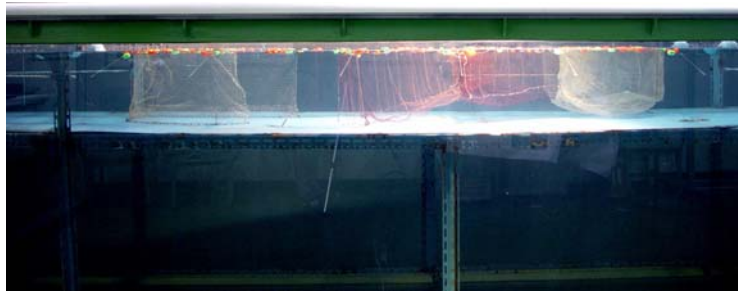


Fig. 2.2.4. Arrangement of the model pound net in the circulating water channel.

(a) plane view (b) side view

라. 실험 방법

현용어구의 모형실험은 실제 어장에서 조류의 주기적 변동을 고려하여 유향 및 유속에 따른 대뜸의 명줄에 걸리는 장력과 어구의 수중형상의 변화를 계측하였다.

앞 장의 현용 정치망 어장에 대한 유향과 유속 측정 실험에서 시험 어장의 유속범위는 약 $0.0\sim 0.6m/s(0.0\sim 1.2k't)$ 로 나타났으며, 조류의 유향은 밀물과 썰물 때에 어구의 부설방향인 운동장과 원통 쪽과 거의 일치함을 알 수 있었다.

따라서, 유향은 조류가 운동장에서 원통방향으로 흐르는 운동장이 조상측인 경우와, 원통에서 운동장 방향으로 흐르는 원통이 조상측인 경우로 설정하였으며, 유속은 $0.0\sim 0.6m/s$ (실물환산 $0.0\sim 2.2k't$)에서 $0.1m/s$ 간격으로 증감하면서 실험하였다.

장력은 대뜸의 명줄을 모형어구 설치대의 베어링과 스위드 하단에 부착된 소형 도르래를 통과시킨 후 스위드 상부에 고정된 로드셀에 연결하여 측정하였고, 그 값은 증폭기를 거쳐 A/D변환기(Interface Co., FBI series IBX-3119, 16ch-12bit)를 통해 컴퓨터에 입력된다.

정치망 내의 유속변화는 Fig. 2.2.5에 나타낸 바와 같이 a~g지점까지 총 8개 지점에서 측정하였는데, 먼저 운동장이 조상측인 경우는 흐름이 모형망을 통과하기 이전 a지점에서 측정하고, 운동장내(b, c, d지점)의 3곳, 비탈그물과 제1원통입구 사이(e지점), 제1원통(f지점), 제2원통(g지점)과 제2원통을 지나 모형어구의 바깥쪽(h지점)에서 측정하였고, 측정수심은 유속이 증가함에 따른 망자락의 부상을 고려하여 모든 유속단계에서 $100mm$ 로 하였다. 그리고, 원통이 조상측인 경우는 그 반대 순서로 측정하였고 측정수심은 $60mm$ 로 하였다. 장력과 유속변화측정은 모두 각 유향·유속별로 정상속도에 도달한 직후부터, 샘플링 속도는 $10Hz$ 로 60초간을 측정하여 데이터를 얻어 그 평균치를 장력치과 유속치로 하였다. 측정치 수중형상은 각 유속별로 Digital camera로 촬영하여 분석하였고, 운동장과 원통 섹장의 기울기와 원통 까래그물의 깊이 및 비탈 그물의 위치, 운동장의 창문망의 날림정도는 Fig. 2.2.6와 같이 1~18개 관측점의 좌표를 Digitizer로 측정하여 분석하였다.

각 부분별 기울기 및 위치 변화는 유속이 $0.0m/s$ 인 정조시의 위치를 초기위치로 하고, 그물 상단부의 뜸과 하단부의 침자 부분을 기준점으로 유속의 증감에 따라 수평거리 x 와 수직거리 y 를 구하여 흐름에 따른 그물의 기울기 $\theta(\theta=\tan^{-1}x/y)$ 를 구하였고, 정조시의 초기각을 θ_0 로 하여 기울기의 변화량($\theta - \theta_0$)으로 비교·분석하였다.

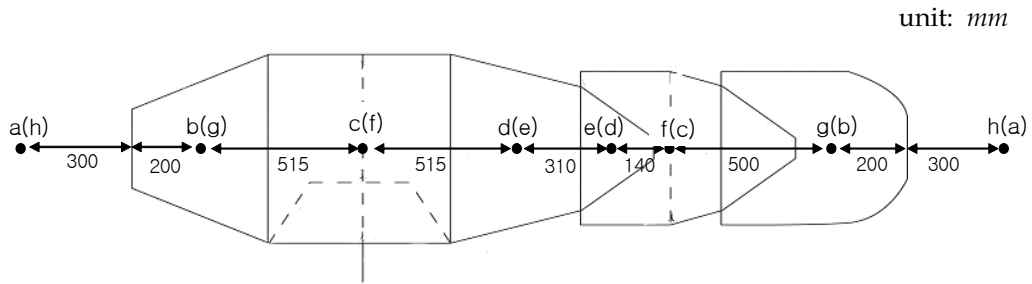


Fig. 2.2.5. Measurement points of flow speed in model pound net.

: in case of the upward flow with bag net.

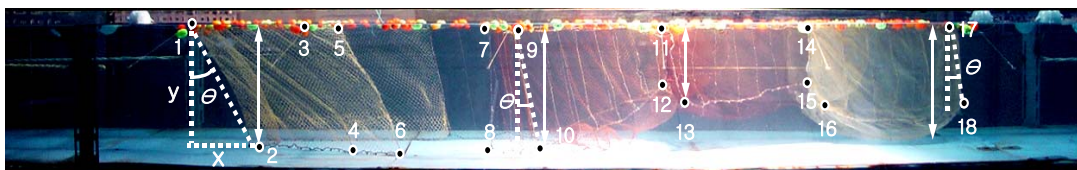
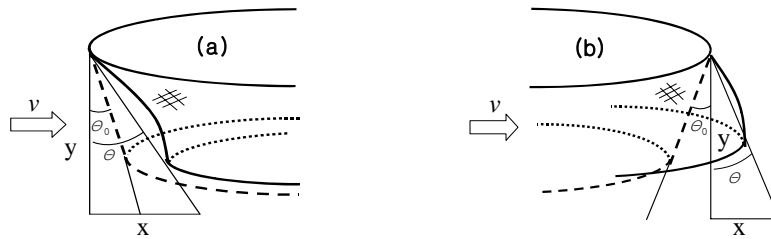


Fig. 2.2.6. Observation points by the digitizer in the model net.

(a) side of the upward flow

(b) side of the downward flow

3. 결과 및 고찰

가. 장력변화

장력은 Fig. 2.2.7.에 나타낸 바와 같이 유속이 증감함에 따라 이차함수적으로 증감하고 있고, 유속이 증가할수록 장력의 증가폭이 더 컸다. 그리고 모형어구가 수중에 설치되는 단계에 이미 약간의 고정 장력이 걸려 있으므로 정조시일 때도 일정한 장력치가 계측되었다. 또, 유속이 감소하여 다시 정조상태가 되었을 때의 장력치와 초기 정조시의 장력값과는 다소 차이가 나타났으며, 이러한 결과는 모형어구가 Fig. 2.2.7(b).에 나타낸 바와 같이 다시 정조상태가 되어도 원상태로 회복되지 않고 조하측으로 어느 정도 이동된 상태로 안정되었기 때문에 멍줄에 장력이 더 크게 걸리는 것으로 판단된다.

운동장이 조상인 경우와 원통이 조상인 경우 모두 유속의 증가에 따른 장력값의 실험식은 다음과 같았다.

운동장 조상인 경우

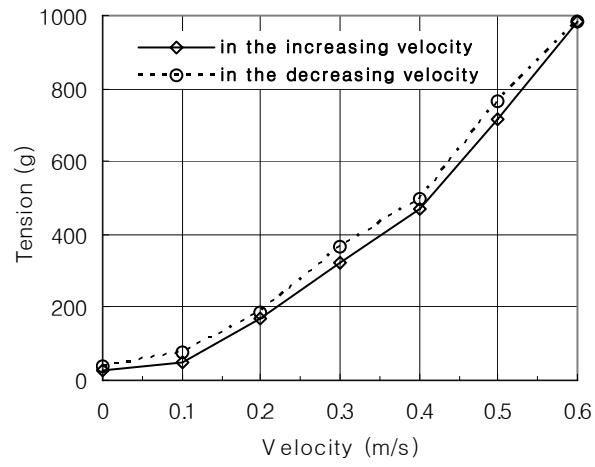
$$R = 19.58 V^{1.98} \quad (r^2=0.98)$$

원통 조상인 경우

$$R = 26.903 V^{1.72} \quad (r^2=0.95)$$

여기서, R 은 장력, v 는 유속이다.

(a)



(b)

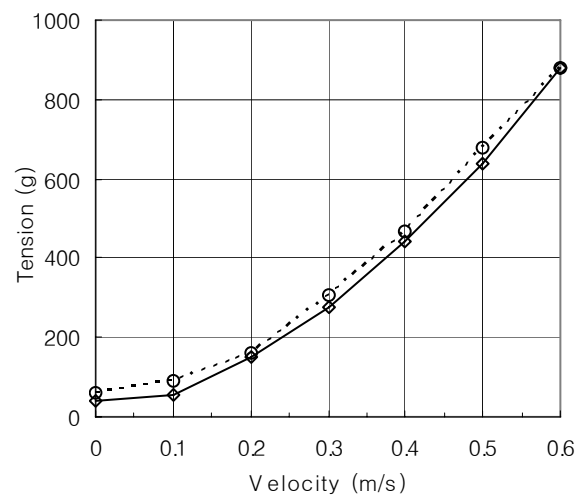


Fig. 2.2.7. Tension of the frame line according to the velocity.

(a) in the upperward flow with fish court net

(b) in the upperward flow with bag net

나. 모형어구 내의 흐름의 변화

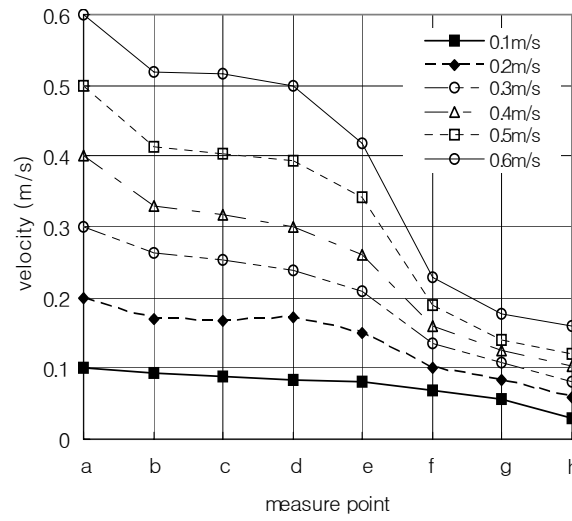
본 실험에서는 회류수조에서의 모형실험을 통한 모형 정치망 어구 내부의 흐름의 변화를 측정하여 현장실험과 비교·분석하였다.

정치망을 통과하는 흐름의 변화는 Fig. 2.2.8에 나타내었는데, 망지를 통과한 흐름은 통과하기 전의 흐름에 비하여 유속이 감소한 것으로 나타났다. 이것은 어떤 유속을 가진 흐름이 그물감을 통과 할 때마다 운동량의 손실이 발생하고, 각 그물감의 후방에는 반류 영역이 형성되었기 때문으로 판단되며, 이러한 경향은 김(2001)과 이 등(2004)의 우리형 그물에 대한 연구에서도 나타났다. 운동장이 조상측일 경우는 Fig. 2.2.8(a)와 같이 조상측의 운동장 설장을 통과한 흐름은 초기 유속보다 약 10~15%정도 감소하였고, 운동장 내(b~d지점)에서는 상대적으로 유속감소율이 작았으며, 다시 비탈그물과 제1원통 입구사이(e지점)에서 다시 유속 감소율이 증가하여 제1원통 내에서는 초기유속보다 현저하게 감소하여 0.1m/s에서는 초기유속의 약 70%, 0.2m/s에서는 약 60%, 0.3m/s에서는 약 50%, 0.4~0.6m/s에서는 약 40%정도로 감소하였다.

원통이 조상측일 경우는 Fig. 2.2.8(b)와 같이 제2원통을 통과한 흐름은 초기 유속의 약 30~60%로 급격히 감소하였고, 제1원통에서는 약 20~30%, 비탈그물에서는 약 10~20%정도까지 감소한 후, 운동장 내에서는 다시 유속이 증가하였다. 그런데, 원통이 조상일 경우에 유속이 계속 감소하다가 운동장 내부를 지나면서 다시 증가하는 것은 김 등(1998)이 언급했듯이 흐름 속에 놓인 망지의 방해로 인하여 흐름의 상태가 변화된 반류의 영향으로 반류영역 내의 유속과 반류영역 외에서의 유속차가 물체 바로 뒤에서 가장 크고 물체에서 멀어질수록 작아지기 때문에 감소한 유속이 상대적으로 길이가 긴 운동장을 지나면서 유속이 다시 가속된 것으로 판단된다.

이것은 앞 장의 실제 정치망 어장에서의 유속변화 측정 실험의 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있는데, 현장 실험에서도 조류가 조상측에서 조하측으로 흐름에 따라 점점 유속이 느려지는 것을 알 수 있었다. 따라서, 조류의 조상측에 위치하는 부분에 부가 중량추를 부착하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

(a)



(b)

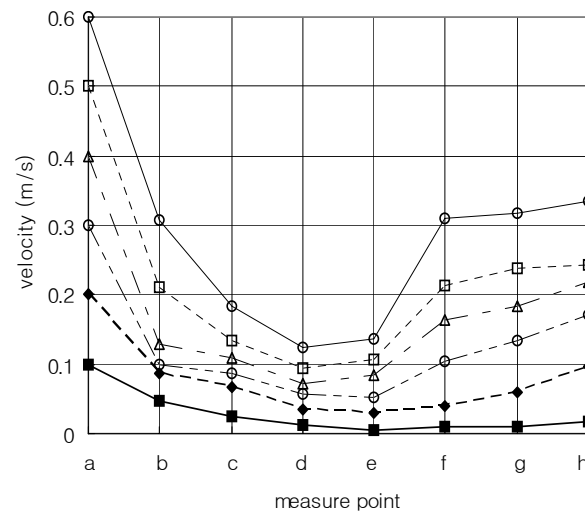


Fig. 2.2.8. Velocity change in the model pound net
(a) in the upward flow with fish court net
(b) in the upward flow with bag net

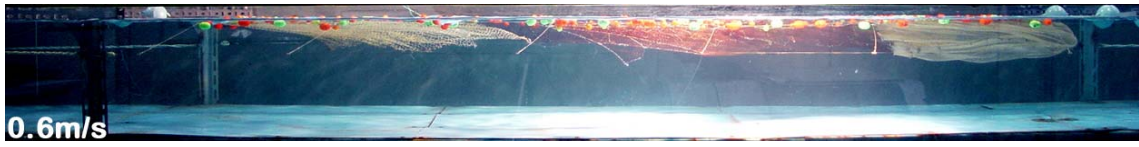
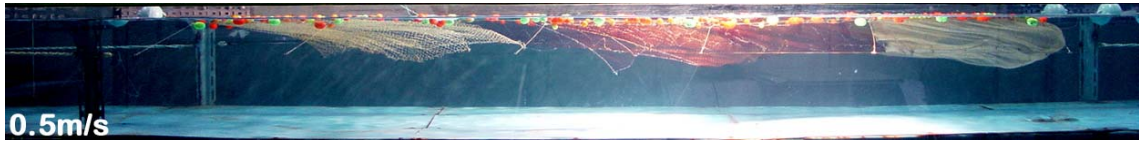
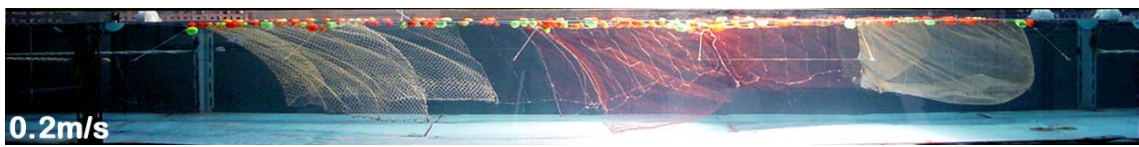
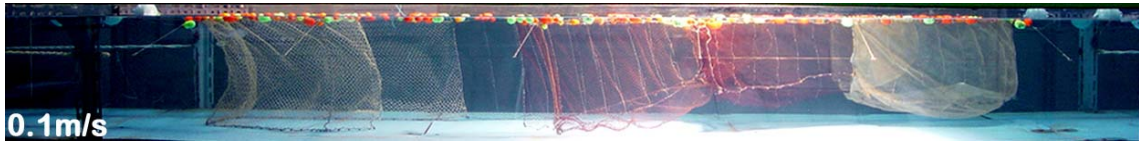
다. 수중형상

(1) 운동장이 조상측인 경우

운동장이 조상일 때 모형어구의 측면형상을 Fig. 2.2.9.에 나타내었으며, 운동장 설정, 비탈그물과 제2원통 설정의 기울기 및 운동장, 제1원통과 제2원통 까래의 깊이 변화는 각각 Fig. 2.2.10.에 각각 나타내었다.

운동장 설정의 기울기 변화량($\theta - \theta_0$)은 Fig. 2.2.10.(a)에 나타낸 바와 같이 유속 0.0~0.6m/s로 증가할 때 약 0~70°까지 증가하였으며, 유속이 0.1m/s에서 0.2m/s로 증가하였을 때 기울기의 변화량이 가장 컸으며, 유속이 증가함에 따라 기울기의 증가폭이 점차 완만하였다. 유속이 감소할 때는 증가시와 비슷한 기울기로 점점 감소하다가 0.0m/s인 정조시가 되어도 운동장 설정의 기울기는 원상태로 복원되지 않고 Fig. 2.2.9.(a)에 나타낸 바와 같이 바닥에 아랫자락이 닿아 초기 기울기보다 큰 약 34°로 어구가 그대로 안정되고 있음을 알 수 있다. 비탈그물의 기울기 변화량($\theta - \theta_0$)은 Fig. 2.2.9.(b)와 같이 유속이 증가함에 따라 비탈그물의 까래가 부상하면서 동시에 조하측으로 이동하여 약 0~63°까지로 나타났고 유속이 감소할 때에도 증가시와 비슷한 경향으로 감소하고 있다. 조하측에 위치한 원통 설정의 기울기 변화량($\theta - \theta_0$)은 Fig. 2.2.10.(c)에 나타낸 바와 같이 약 0~47°까지로 나타났고, 유속이 감소할 때는 약 47~3.7°로 나타나 정조시에는 초기 정조시와 비교하면 약 3.7°정도 차이가 있었다.

(a)



(b)

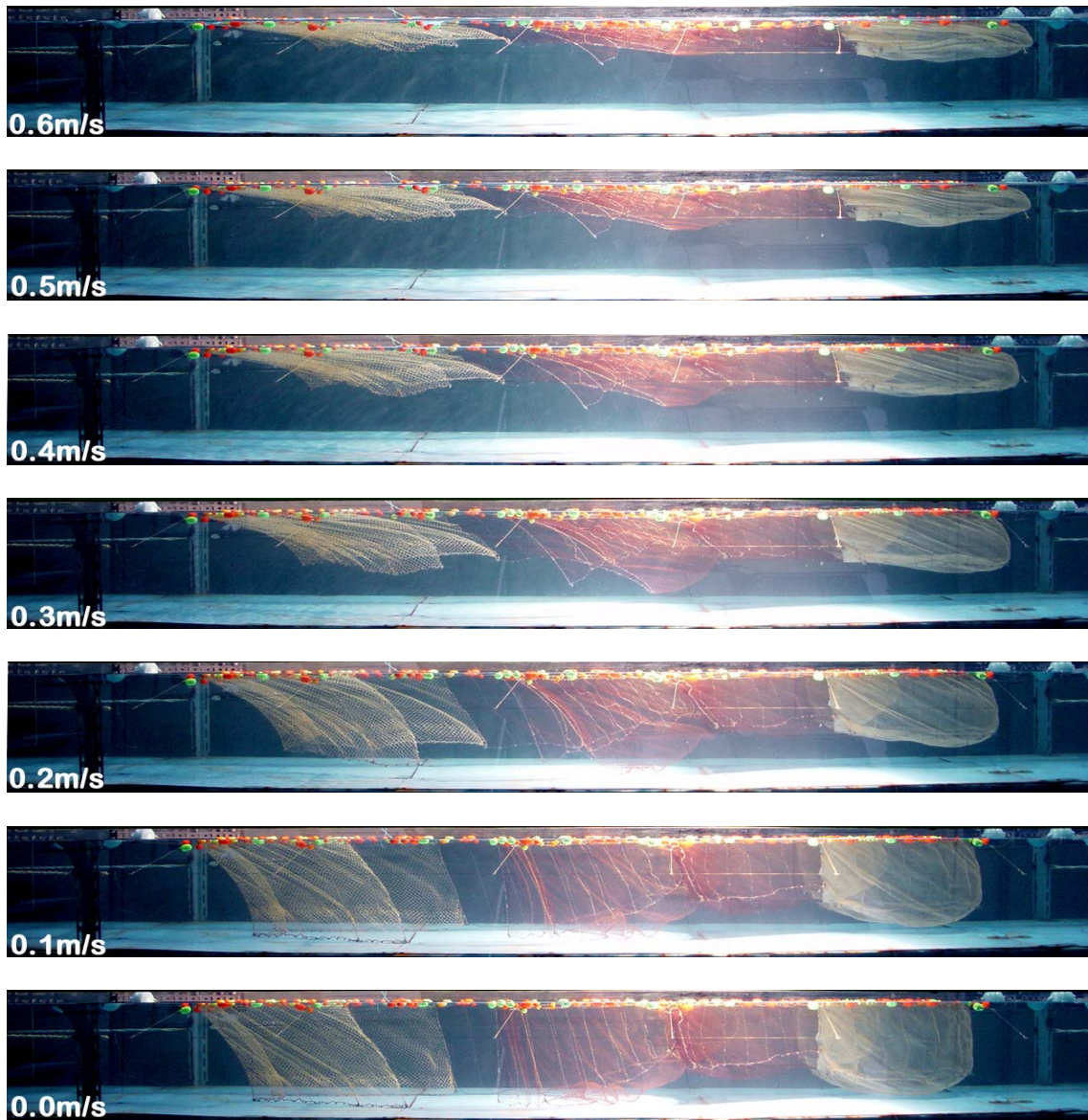
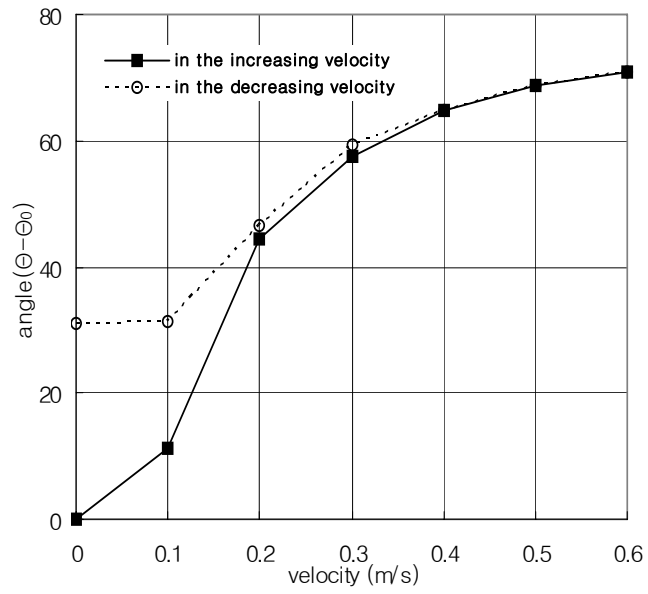


Fig. 2.2.9. Side-shape according to the velocity in the upward flow with fish court net.

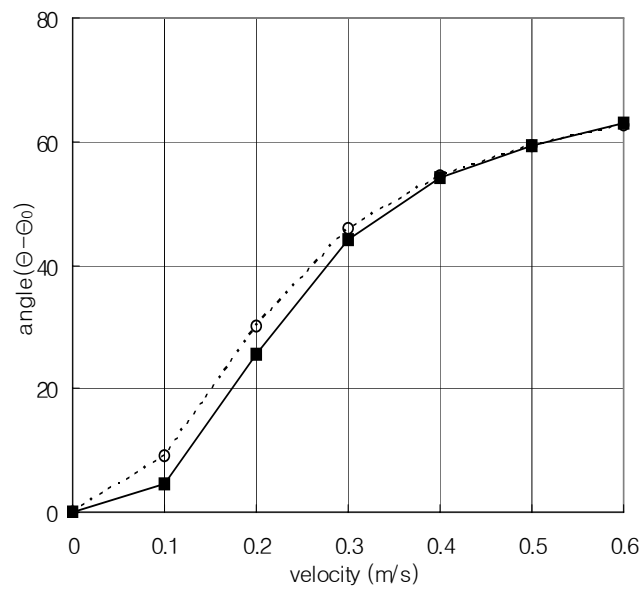
(a) in the increasing velocity

(b) in the decreasing velocity

(a)



(b)



(c)

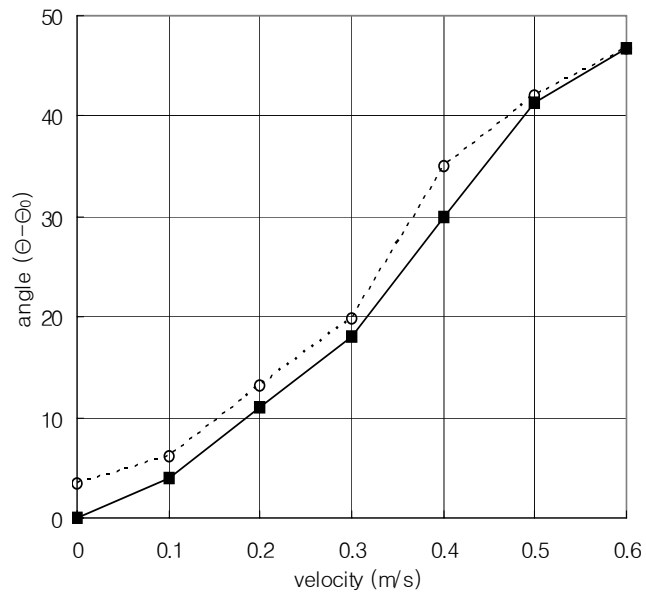


Fig. 2.2.10. Change of deformed angle and according to the velocity in the upward flow with fish court net.

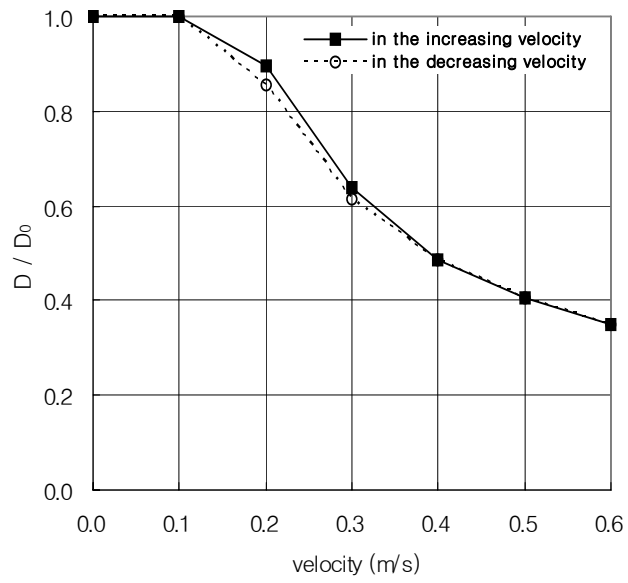
(a) fish court net($\Theta_0 \doteq 0$)

(b) inclined passage net($\Theta_0 \doteq 6.9$)

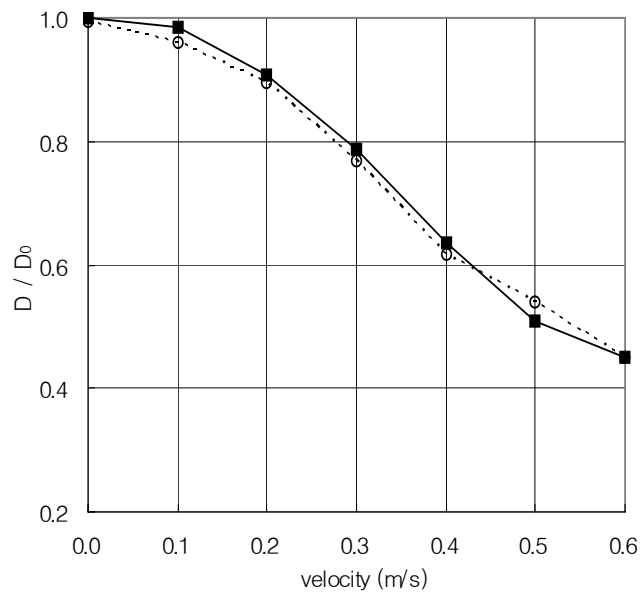
(c) second bag net($\Theta_0 \doteq -6$)

비탈그물, 제1원통, 제2원통 까래의 깊이 변화를 Fig. 2.2.11과 같이 정조상태의 깊이(D_0)와 각 유속별 깊이(D)의 비로 각각 나타내었다. 비탈그물의 깊이 변화는 Fig. 2.2.11(a)와 같이 유속이 $0.0\sim 0.6m/s$ 로 증가함에 따라 아랫자락이 점차 부상하고 있는데, $0.0\sim 0.1m/s$ 까지는 변화가 거의 없이 바닥에 닿아 있다가 $0.1m/s$ 이상부터 급격히 부상하기 시작하여 $0.6m/s$ 에서는 정조시 깊이의 약 37%정도까지 감소하였다. 제1원통과 제2원통 까래의 깊이는 Fig. 2.2.11(b)와 Fig. 2.2.11(c)에 나타낸 바와 같이 유속이 증가함에 따라 감소하여 $0.6m/s$ 에서는 정조시 보다 약 45%정도까지 부상하였다. 유속이 감소할 때에 모든 까래그물의 깊이 변화는 유속이 증가할 때와 비슷한 경향을 보이고 있으나, 제2원통의 경우 다시 정조상태가 되어도 초기 정조상태에 비해 약 91%정도까지만 회복되었다.

(a)



(b)



(c)

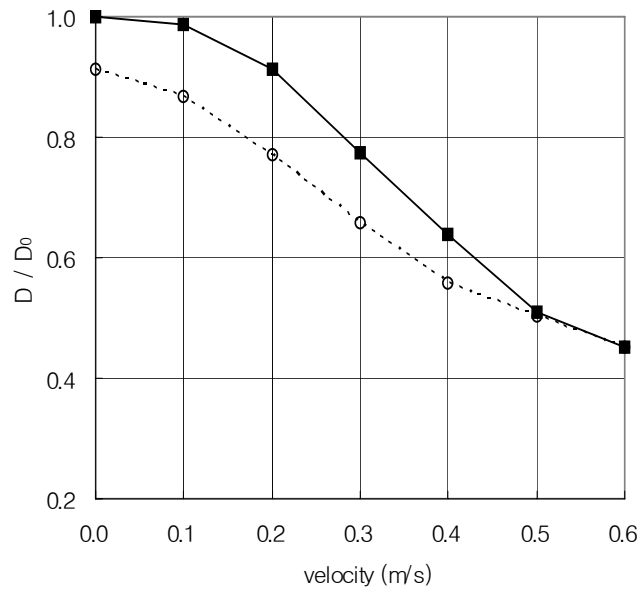


Fig. 2.2.11. Change of depth ratio according to the velocity in the upward flow with fish court net (D_0 : initial depth).

(a) inclined passage net

(b) first bag net

(c) second bag net

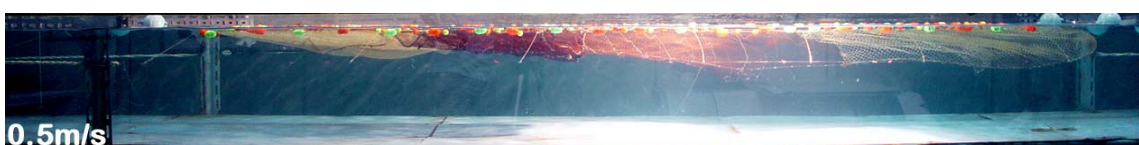
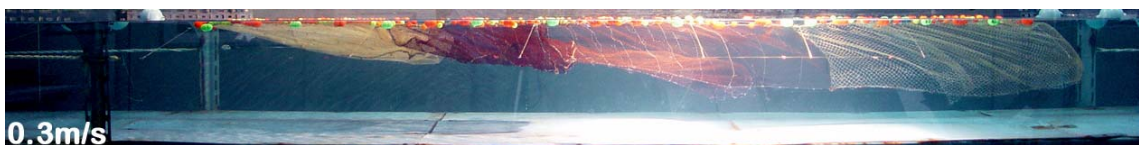
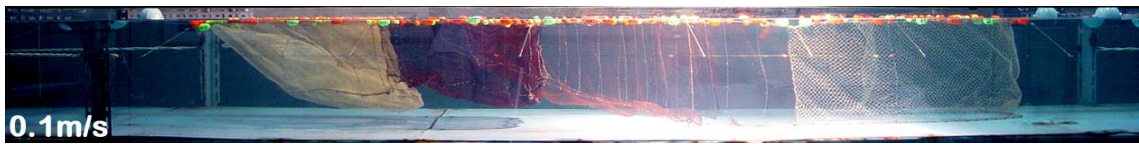
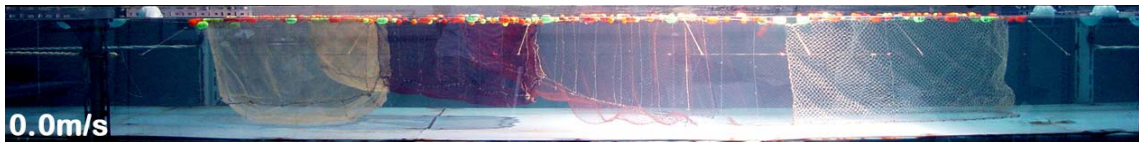
이와 같이 유속이 감소할 때의 까래그물의 깊이와 유속이 증가할 때의 깊이가 각 유속 단계별로 약간의 차이를 보이는 것은 초기 정조시의 상태로 회복되는 시간이 늦어지기 때문이며, 실물망에서도 이와 같은 현상이 나타날 것으로 판단된다. 특히, 제2원통에서는 그 현상이 더욱 현저하게 나타날 것으로 판단된다.

이상의 결과로 볼 때, 운동장이 조상인 경우 실험 유속 $0.2m/s$ 에 해당되는 실제 유속 약 $0.35m/s$ ($0.7k/t$) 이상에서는 실물어구의 운동장 아랫자락과 비탈그물의 까래그물이 급격히 부상하면서 조하측으로 날리고 운동장의 창문망 역시 Fig. 2.2.9에 나타낸 바와 같이 부상하면서 조하측으로 날리게 되어 어군의 입망을 방해할 것으로 판단되므로, $0.35m/s$ 이상에서는 어획성능이 급격히 감소하기 시작하여 실험유속 $0.3m/s$ 에 해당하는 실제유속 $0.6m/s$ 에서는 어획이 거의 되지 않을 것으로 추정된다.

(1) 원통이 조상측인 경우

원통이 조상일 때 모형어구의 측면형상을 Fig. 2.2.12에 나타내었으며, 제2원통 쇄장, 비탈그물과 운동장 쇄장의 기울기 및 제1원통, 제2원통 까래와 비탈그물의 깊이 변화는 Fig. 2.2.13. 및 Fig. 2.2.14.에 각각 나타내었다.

(a)



(b)

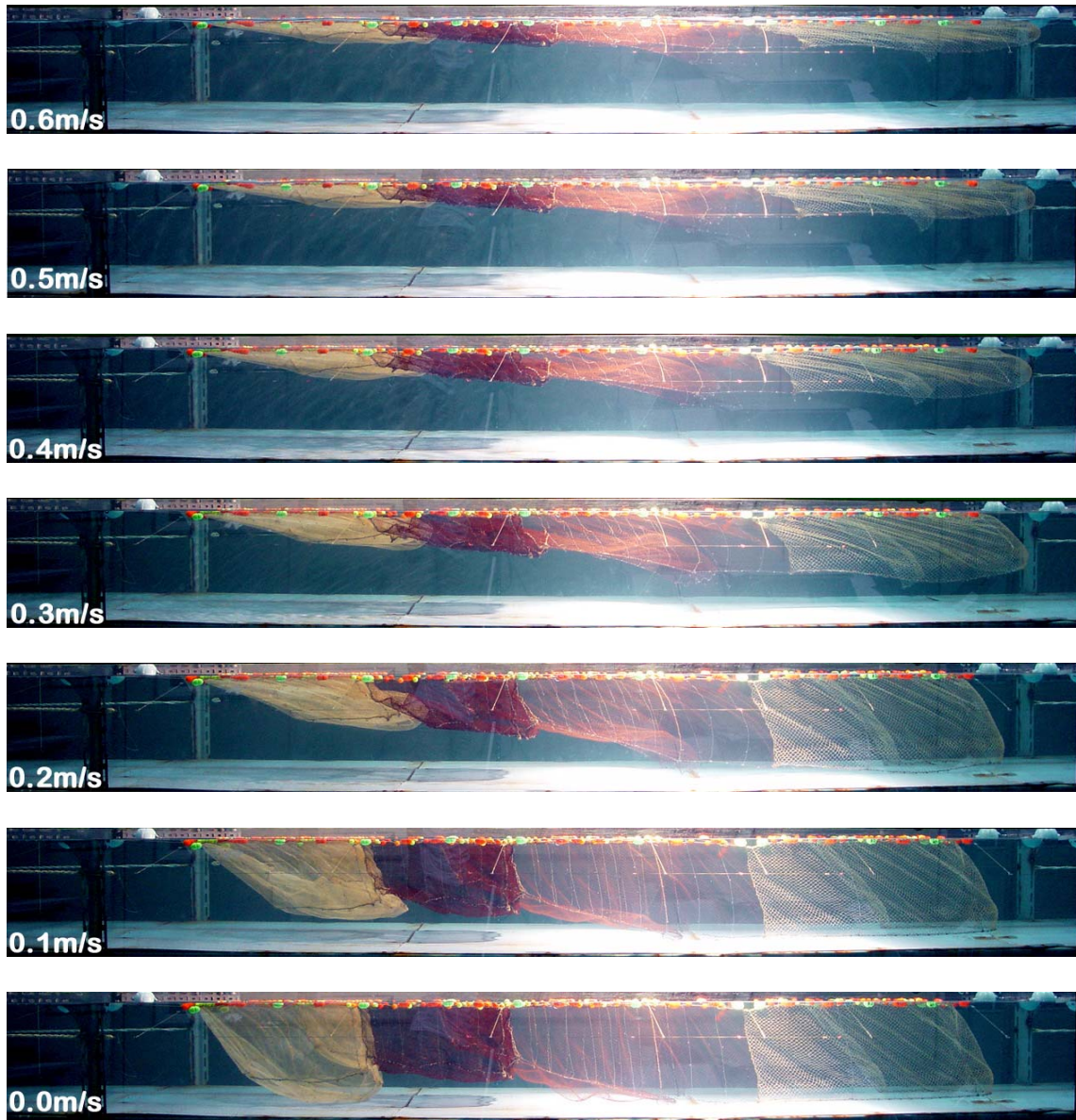


Fig. 2.2.12. Side-shape according to the velocity in the upperward flow with bag net.

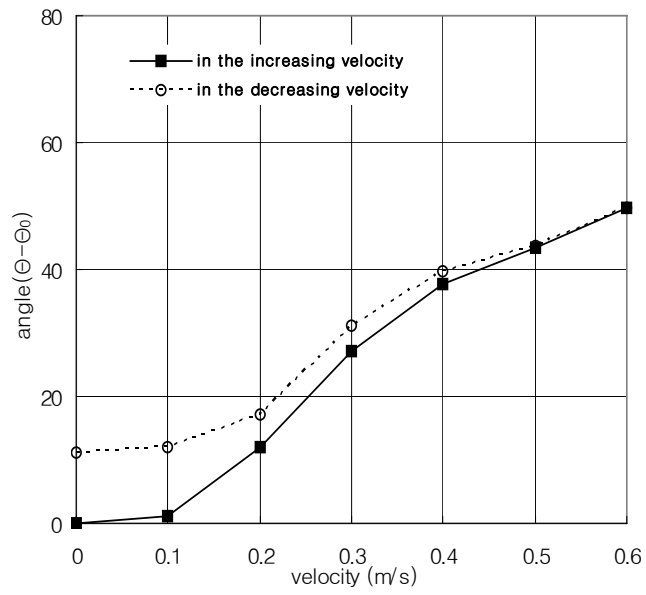
(a) in the increasing velocity (b) in the decreasing velocity

조하측의 운동장 설장의 기울기 변화는 유속이 증가함에 따라 Fig. 2.2.12(a)와 Fig. 2.2.13.(a)에 나타난 바와 같이 유속이 $0.0\sim 0.1m/s$ 에서는 아랫자락이 바닥에 닿아있으면서 약간 조하측으로 밀리고 있으나, $0.2m/s$ 이상부터 아랫자락이 부상하기 시작하면서 동시에 조하측으로 급격히 이동하여 $0.6m/s$ 에서는 기울기 변화량이 약 50° 까지 증가하였다. 유속이 감소할 때는 기울기 변화량이 완만히 감소하여 $0.1m/s$ 에서 바닥에 끌리기 시작하여 정조시가 되어도 초기 정조시와 비교하여 약 11° 정도에서 안정되었으며, 전반적으로 운동장이 조상인 경우와 비슷한 기울기 변화를 나타냈었다.

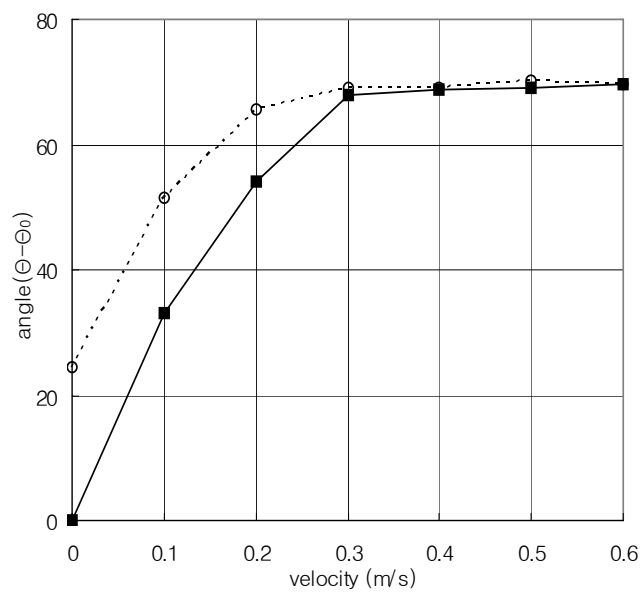
조상측의 제2원통의 기울기 변화는 Fig. 2.2.13.(b)와 같이 유속이 $0.0m/s$ 에서 $0.3m/s$ 로 증가할 때 기울기 변화량은 급격히 증가하여 약 70° 까지 증가하였고, $0.3m/s$ 이상에서는 더 이상의 변화 없이 일정하게 유지되었다. 유속이 감소할 때에는 기울기의 변화량이 점차 감소하다가 $0.2m/s$ 를 기점으로 해서 급격히 원상태로 회복되었으나, 다시 정조상태가 되었어도 초기 정조상태로 회복되지 않고 초기 정조시보다 약 24° 정도 더 큰 기울기로 안정되었다. 따라서, 초기 정조상태의 형상으로 회복되기까지는 많은 시간이 소요될 것으로 판단된다.

비탈그물의 기울기 변화는 Fig. 2.2.13.(c)에 나타난 바와 같이 $0.0\sim 0.1m/s$ 까지는 기울기의 변화가 없었으며 그 이상부터 비탈그물의 까래가 조하측으로 급격히 밀려서 $0.6m/s$ 에서는 기울기의 변화량이 약 55° 까지 증가되었다. 유속이 감소할 때는 증가시와 비슷한 경향으로 기울기의 변화량이 감소하다가 $0.1m/s$ 부터 비탈그물의 아랫자락이 바닥에 끌리기 시작하여 다시 정조상태가 되어도 초기상태로 회복되지 않고 약 5° 정도의 기울기로 안정되었다.

(a)



(b)



(c)

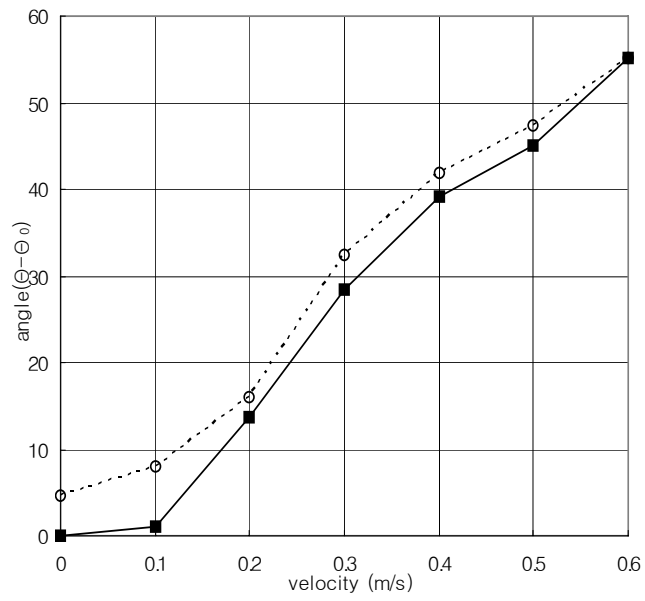


Fig. 2.2.13. Change of deformed angle and the change of depth ratio according to the velocity in the upperward flow with bag net.

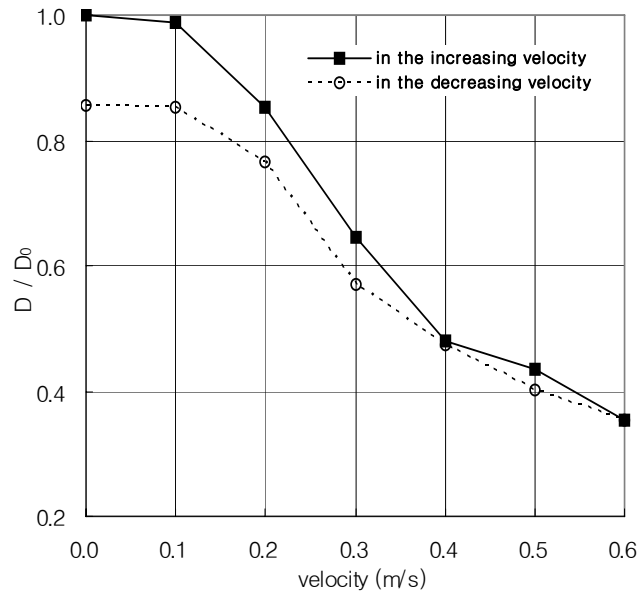
- (a) fish court net($\Theta_0 \doteq 0$)
- (b) second bag net($\Theta_0 \doteq 11.2$)
- (c) inclined passage net($\Theta_0 \doteq 0.2$)

조상측에 위치한 제1원통 까래그물의 깊이 변화는 Fig. 2.2.12.와 Fig. 2.2.14.(a)에 나타난 바와 같이 유속이 $0.0\sim 0.6m/s$ 로 增加함에 따라 초기 정조상태의 깊이에 비해 점차 감소하고 있는데, $0.0\sim 0.1m/s$ 까지는 변화가 거의 없었고, $0.1m/s$ 이상부터 급격히 부상하기 시작하여 $0.6m/s$ 에서는 초기 정조상태 깊이의 약 35%정도까지 감소하여 까래의 부상 정도가 심각하였다. 유속이 감소할 때는 점차 형상이 회복되지만, 다시 정조상태가 되어도 초기 정조상태의 까래그물깊이의 약 86%정도만 회복되었다.

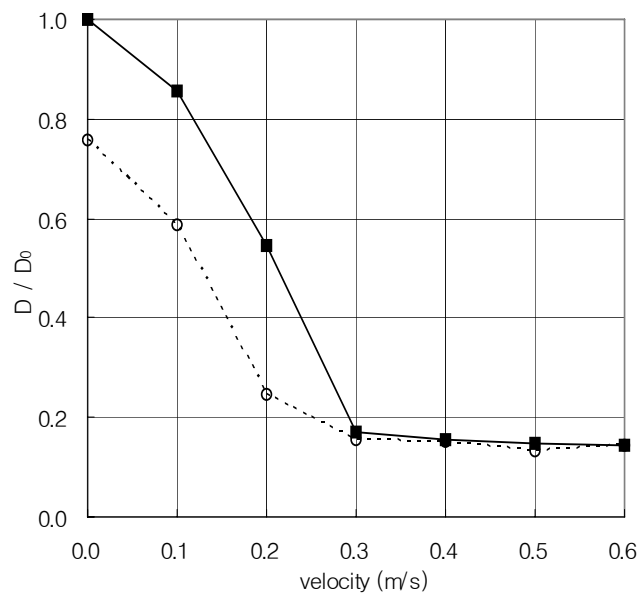
제2원통 까래그물의 깊이는 Fig. 2.2.12.와 Fig. 2.2.14.(b)에 나타난 바와 같이 유속이 $0.0\sim 0.3m/s$ 에서 급격히 감소하여 정조시의 약 20%정도까지 부상하였다가 $0.3m/s$ 이상에서는 더 이상 부상하지는 않았지만, 까래의 부상 정도는 심각한 수준이었다. 유속이 감소할 때는 점차 까래그물이 침강하지만, 정조상태가 되어도 초기 정조상태의 까래그물 깊이의 약 76%정도만 회복되었다.

비탈그물의 까래의 깊이 변화는 Fig. 2.2.12.과 Fig. 2.2.14.(c)에서와 같이 유속이 $0.0\sim 0.1m/s$ 까지는 변화가 거의 없이 아랫자락이 바닥에 닿아 있다가 $0.1m/s$ 이상부터 급격히 부상하기 시작하였고, $0.6m/s$ 에서는 정조시 깊이와 비교해 약 35%정도까지 감소하여 까래의 부상 정도가 심각하였다. 또한, 비탈그물의 까래는 유속이 증가함에 따라 점차 원통입구를 막기 시작하여 $0.5m/s$ 이상에서는 원통입구를 90%이상 막는 것으로 나타났다. 원통입구의 깊이는 유속이 $0.0\sim 0.6m/s$ 로 증가할 때 초기 정조상태에 비해 약 35%정도까지 감소하였다.

(a)



(b)



(c)

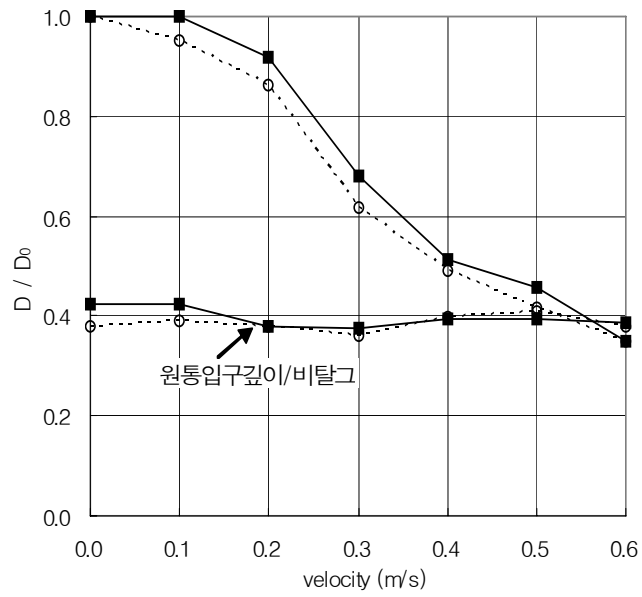


Fig. 2.2.14. Change of depth ratio according to the velocity in the upward flow with bag net (D_0 : initial depth).

(a) first bag net (b) second bag net (c) inclined passage net

이상의 결과로 볼 때, 원통이 조상인 경우 실험 유속 $0.2m/s$ 에 해당되는 실제 유속 약 $0.35m/s$ ($0.7k't$) 이상에서는 실물어구의 원통이 조류에 날려 형상이 유지되지 않고 용적이 급격히 감소하여 어획성능이 현저히 떨어질 것으로 추정되며, 운동장 조상일 때와 마찬가지로 운동장 아랫자락과 비탈그물의 까래그물 및 운동장의 창문망이 급격히 부상하면서 조하측으로 날리게 되어 어군의 입망을 방해할 것으로 판단되고, $0.5m/s$ ($1.0k't$) 이상에서는 어획이 거의 되지 않을 것으로 판단된다.

라. 설계기준 도출

모형실험에서 대뜸의 명줄에 작용하는 장력값은 각 유속별로 모두 상당한 편차가 있었고, 모형실험의 결과인 장력을 실제값으로 환산하면 유속이 약 $0.0\sim 2.4k't$ 로 증가함에 따라 약 $0\sim 38$ 톤의 장력이 양쪽 대뜸의 명줄에 균일하게 작용한다는 것을 알 수 있다. 따라서 어구 설계 시에는 각 유속별 장력의 최대값을 고려하여 명줄, 사개줄 및 각부 망지의 재질을 선정하고, 형상의 변형이 최소화 되도록 침자와 망지를 적절하게 배치하는 것이 어구의 내구력을 향상시키고 파손으로 인한 조업손실을 줄일 수 있다.

일반적으로 정치망과 같은 우리형 그물은 그물 외부보다 그물 내부에서 유속이 더 작고 흐름의 방향의 후방에 있는 그물감이 전방에 있는 그물감보다 유수저항을 작게 받는다(김 2001). 따라서 흐름에 따른 모형망의 수중형상 변화 중에서 가장 직접적으로 영향을 받는 부분은 조상측에 배치된 그물이며, 이 부분의 수중형상은 유속의 증감에 따라 민감하게 변화를 일으키게 된다. 또한, 조상측 각 그물의 까래의 형상변화도 매우 현저하며, 상대적으로 조하측 그물은 영향을 적게 받게 된다. 그러나 조하측에 배치된 그물도 유속이 빨라짐에 따라 형상의 변화도 적지는 않았다. 특히, 원통의 까래 깊이의 급격한 감소는 그물 내부용적을 줄어들게 하여 입망한 어군이 위협을 느껴 도피할 가능성을 증대시키는 요인이다.

그리고, 시험 정치망 어장의 유향과 유속의 측정실험의 결과에서 어장 주변 유속의 범위는 약 $0.0\sim 1.2k't$ 로 나타났다. 또한, 썰물일 때 인 원통이 조상측인 경우에는 원통이 조류와 만나는 방향이 원통의 부설방향과는 약 20° 정도 편차가 있었으나, 밀물일 때인 운동장 조상측인 경우에는 운동장이 조류와 만나는 방향이 운동장의 부설방향과 거의 일치하였다.

그런데, 모형 정치망의 회류수조에서의 모형실험의 결과, 운동장의 부설방향과 운동장이 조류와 조우하는 방향이 거의 일치하는 운동장 조상측인 경우, $0.7k't$ 에서는 운동장 아랫자락과 비탈그물의 까래가 급격히 부상하면서 조하측으로 날리고, 운동장의 창문망도 조하측으로 날리

게 되어 어군의 입망을 방해할 것으로 판단되어, 0.7k't이상에서는 어획성능이 급격히 감소하여 1.2k't에서는 어획이 거의 되지 않을 것으로 판단된다. 그리고, 원통이 조상측인 경우 0.7k't이상에서는 원통이 조류에 날려 정조시의 원통 까래깊이의 약 20%정도로 용적이 감소하여 어획성능이 현저히 떨어질 것으로 추정되며, 시험어장에서의 최대 유속인 1.2k't이상에서는 거의 어획이 되지 않을 것으로 판단된다.

따라서, 어구 설계시에는 각 유속별 장력의 최대값을 고려하여 명줄, 사개줄 및 각부 망지의 재질을 선정하고, 형상의 변형이 최소화 되도록 침자와 망지를 적절하게 배치하는 것이 어구의 내구력을 향상시키고 파손으로 인한 조업손실을 예방하는 방법이 될 것이다.

제 3 장 어구설계 및 해석시스템 개발

제 1 절 정치망 어구시스템 모델링

1. 운동방정식 기술

정치망 어구는 다양한 종류의 망지와 로프에 뜸, 침자, 앵커 등의 속구가 부착된 구조이고, 수학모델은 유연구조물로 간주되는 망지와 로프를 중심으로 기술할 수 있다. 본 연구에서는 이 유연구조물을 유한개의 질점으로 나누고, 이들 질점들이 탄성이 있는 줄로 연결되어 있는 물리 시스템으로 간주하고 기술하였다.

위의 방법을 망지에 적용시키는 간단한 방법은 하나의 그물코의 매듭(knot)은 질점으로, 발(bar)은 이들 질점을 연결하는 스프링으로 간주하고, 이 그물코와 그물코에 부착된 침자나 뜸이 가지는 항력과 양력, 침강력과 부력 등의 모든 외력은 질점에만 집중되어 작용하고, 이들 질점을 연결하는 스프링은 외력이 전혀 작용하지 않고, 단지 질점 사이에서 탄성력에 의한 내력만 작용하는 것으로 가정하고 기술하는 방법이다.

그러나 이 방법은 그물코가 몇 개 되지 않는 소형 어구시스템에 적용할 수 있는 방법이고, 정치망어구와 같이 많은 그물코가 있는 대형 어구시스템에는 부적합한 방법이다. 이러한 시스템에 대한 수학적인 취급에서는 수백 또는 수천 개의 그물코를 하나의 그물코로 근사하여 기술할 수밖에 없고, 본 연구에서는 대략 5,000여개의 그물코를 하나의 그물코로 근사하여 표현하였고, 그물발의 중간에도 질점을 하나 더 배치하여 발의 굽힘도 표현되도록 하였다(Fig. 3.1.1.).

각 질점 운동방정식의 기본형을 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$m\ddot{\mathbf{q}} = \sum \mathbf{f} \tag{1}$$

여기서 m 은 질량, $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 가속도 벡터, \mathbf{f} 는 힘 벡터로 내력과 외력으로 구성된다.

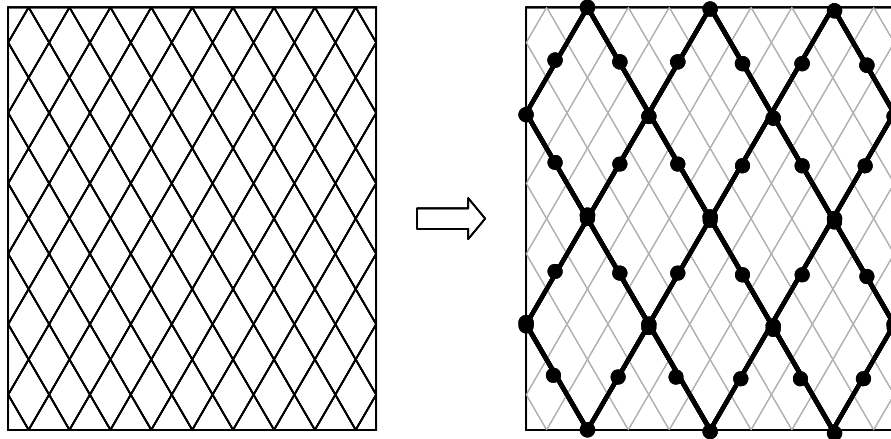


Fig. 3.1.1. Modeling a netting with small meshes.

2. 내력과 외력

내력은 각 질점 사이에 작용하는 힘을 지칭하는 것으로, 근사된 질점인 어구의 각 부속구 및 망지의 매듭을 서로 연결하는 각종 줄 또는 그물밭에 작용하는 힘이다. 이때, 각종 줄과 그물밭은 일종의 스프링으로 보고, 그물에 작용하는 힘은 변형량에 비례하는 것으로 간주한다. 각 질점에 작용하는 내력은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{f}_{int} = -k\mathbf{n}(|\mathbf{r}| - l^0) \quad (2)$$

여기서 k 는 어구를 구성하는 각종 줄 또는 그물밭의 탄성계수이며, \mathbf{n} 은 스프링의 단위벡터이다. \mathbf{r} 은 스프링의 위치벡터이며, $|\mathbf{r}|$ 은 위치벡터의 크기를 나타낸다. l^0 는 질점간의 원래길이(m), 즉 스프링의 원래길이이다. 단위벡터 \mathbf{n} 은 위치벡터 \mathbf{r} 을 위치벡터의 크기 $|\mathbf{r}|$ 로 나눈 것이다.

외력은 외부로부터 각 질점에 작용되는 힘이다. 어구에 작용하는 힘은 부력, 침강력, 항력 및 양력 등이 있다. 유체력의 방향과 크기는 망지가 흐름에 대해 받는 영각에 따라 달라진다. 이러한 요소들은 3차원공간에서 흐름의 존재여부에 따라서 달라진다. 먼저 흐름이 없는 경우는 질점에서의 속도벡터와 위치벡터가 이루는 각에 따라 항력계수 및 양력계수가 결정된다. 흐름이 있는 경우는 흐름에 의한 속도벡터의 결과와 질점에 작용하는 위치벡터가 합해져서 계수들이 결정되게 된다.

여기서 모든 흐름의 합력 속도벡터 \mathbf{V} 에 대해 항력은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_D = -\frac{1}{2}C_D\rho S\mathbf{V}^2 \quad (3)$$

여기서 C_D 는 항력계수, ρ 는 유체의 밀도($kgw \cdot s^2/m^4$), S 는 망사의 면적(m^2)을 나타내며, 면적은 그 질점의 매듭의 면적과 질점과 연결된 밧들의 총 투영면적(TPA)의 합으로 하였고, 식은 아래와 같다. 그물망지 부분의 대표질점 부분은 질점들이 포함된 망지의 총 투영면적을 질점수로 나누어 각 대표질점의 면적으로 취하였다.

$$TPA = \sum_{i=1}^n (4d_i l_i) + \gamma \sum_{i=1}^m d_i^2 \quad (4)$$

여기서 d 와 l 은 그물실의 직경과 한발의 길이이고, n 은 코의 개수이다. 또한 매듭부분의 계산은 매듭이 있는 결절망지의 경우, Prado(1990)가 제시한 것과 같이 가로, 세로가 직경의 3배인 정사각형으로 간주하였으며, 무결절 망지인 경우는 그물이 교차하는 면적을 그물 굵기의 제곱값으로 취하였다. 따라서 m 개 매듭의 TPA 를 계산하기 위해서 결절망지의 경우 γ 는 9가 되고, 무결절 망지인 경우는 γ 는 1이 된다. 이러한 방법은 그물실의 굵기를 고려할 수 있어, 망지의 면적을 좀 더 정확히 구할 수 있다. 또한 \mathbf{V} 는 속도의 합성벡터이다. 속도벡터 \mathbf{V} 와 위치벡터 \mathbf{r} 사이의 각 α 는 항력계수 결정에 필요하며, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{r}}{|\mathbf{V}| |\mathbf{r}|} \right] \quad (5)$$

양력은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho S V^2 \mathbf{n}_L \quad (6)$$

여기서 C_L 은 양력 계수이다. 이것은 위의 식에서 결정된 각에 의해 계산되며, ρ 와 S 는 저항식과 같으며 V 는 속도(m/s)이다. 상기 식에서 양력의 작용방향 \mathbf{n}_L 은 속도 벡터 \mathbf{V} 에 직각 방향이고, 다음 식으로 계산 할 수 있다.

$$\mathbf{n}_L = \frac{\mathbf{V} \times (\mathbf{V} \times \mathbf{r})}{|\mathbf{V} \times (\mathbf{V} \times \mathbf{r})|} \quad (7)$$

망지에 대한 항력계수와 양력계수에 관해서는 많은 실험과 해석이 반복, 누적되어 온 수치들이 있지만 이들 계수에 영향을 주는 요소가 다양하여 일반적으로 통용되는 표준화된 계수가

정해져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 Lee 등(2005)이 연구한 수중 유연시스템의 동적 시뮬레이션에 대한 물리적 모델링 방법을 통해 제시한 값을 종합하여 영각에 따라 항력계수와 양력계수를 구하였으며 각 단계별로 적용하도록 하였다. 또한 항력 및 양력계수가 망지의 결절유무에 따라 달라질 수 있으나, MELO, *et al.*(2003)의 실험에 따르면 같은 조건하에 침강했을 때 결절망지가 무결절 망지보다 평균 침강수심이 23%정도 낮은 경향을 보였다고 보고하였으며, 이는 식(4)에서 설명한 바와 같이 망지의 결절 유무에 따라 면적(S)의 차이가 발생하기 때문에 침강수심이 달라지는 것으로 보았으며, 본 연구에서도 해상시험을 실시하여 침강수심 및 침강속도를 측정하여 이를 검증하였다.

항력 및 양력계수는 Fig. 3.1.2와 같이 영각에 따라 그 값이 변하고, 비선형으로 영각에 따라 계수의 변화를 나타내는 식을 구해 적용을 할 때는 정확성이 떨어지므로, 좀 더 정확한 계산을 위하여 영각의 범위를 나누어서 가장 근접한 직선식을 구하여 계산에 적용하였다.

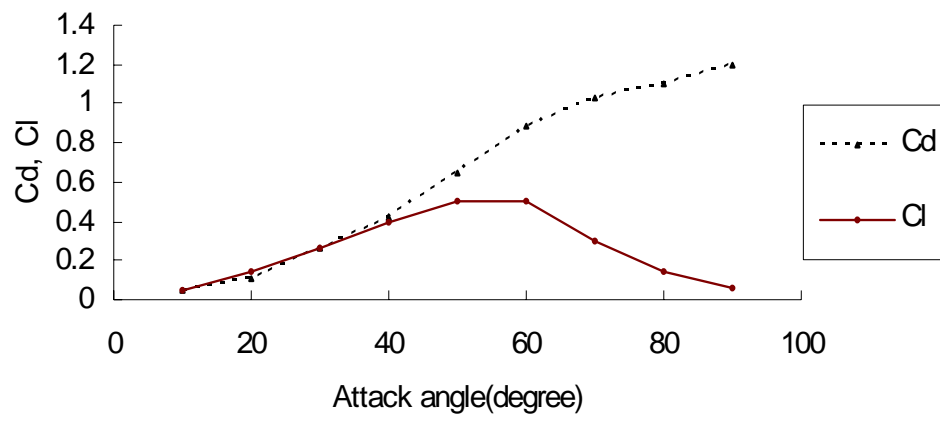


Fig. 3.1.2. The drag and lift coefficient(C_D , C_L) according to attack angle.

부력과 침강력인 \mathbf{F}_B 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_B = (\rho_i - \rho_w)V_N \mathbf{g} \quad (8)$$

여기서 ρ_i 는 재료의 밀도, ρ_w 는 해수의 밀도, V_N 은 재료의 부피, \mathbf{g} 는 중력가속도이다. 망지 원래의 질량 m_o 은 다음과 같다.

$$m_o = \rho_i V_N \quad (9)$$

여기서 ρ_w 는 해수의 밀도, V_N 은 망사의 부피이다. 본 연구에서는 그물의 받(bar)을 원기둥으로, 매듭을 구로 간주하여 V_N 을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_N = \frac{1}{4} \pi N_b l d^2 + 3 N_k \pi d^2 \quad (10)$$

여기서 l 은 그물 한말의 길이, d 은 직경, N_b 은 그물 전체의 그물말의 수 그리고 N_k 는 망지에 존재하는 매듭의 수이다.

해수를 비압축성으로 보고, 부가질량 m_a 는 원기둥의 경우 원래의 질량과 같고, 구의 경우 원래 질량의 0.5배가 되므로 다음과 같다.

$$m_a = \rho_w \left(\frac{1}{4} \pi N_b l d^2 + \frac{3}{2} N_k \pi d^2 \right) \quad (11)$$

따라서 망지의 질량 m 은 가상질량으로 원래의 질량 m_o 과 부가질량 m_a 의 합으로 m 은 아래의 식과 같다.

$$m = m_o + m_a \quad (12)$$

수중 유연 구조물을 구성하는 요소 중 망지와 로프를 제외한 속구들은 대부분 그 모양이

변하지 않는 강체 이므로 예망 중에는 속구들에 작용하는 항력 및 양력계수와 수중무게 등 물리적 파라메타는 변하지 않는 상수로 볼 수 있다. 그러나 망지와 로프는 강체의 속구들과는 달리 형상이 정해져 있지 않고 외력에 의해 모양이 바뀌는 유연체로 만들어져 있기 때문에 운동 중 작용하는 힘에 의해 그 형상이 변하게 되며, 항력과 양력도 형상에 따라 달라진다.

3. 파랑 모델

파랑은 옆에서 볼 때 cosine 곡선모양이고, 비점성, 비압축성의 이상적인 유체 (ideal fluid)에 의한 2차원 규칙파라고 가정하였다. 이 방법으로 파의 표면 형태, 파의 진행, 표면하의 물입자의 운동에 대한 많은 정보를 얻을 수 있다.

파는 주기(T), 파장(Λ), 파속(C), 그리고 진폭(A)으로 나타낼 수 있다. Fig. 3.1.3와 같이 파장은 두 마루 사이의 거리를 나타낸다. 파고(H)는 골과 마루 사이의 수직거리이며 진폭의 두 배이다. 주기는 연속한 두개의 마루가 한 지점을 지나갈 때 걸리는 시간이다.

모든 종류의 파에 대하여 파의 특정부분이 어느 고정된 점을 지나가는 속도는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$C = \Lambda / T \tag{13}$$

여기서, Λ 는 파장, T 는 주기이다. 간단한 표기를 위해 radian 주파수는 $\omega(\omega = 2\pi/T)$ 로, radian 파수(wave number)는 $k(k = 2\pi/\Lambda)$ 로 나타낸다.

진행하는 cosine 파에 대하여 평균 수준면으로부터 자유표면의 수직변위 η 은 시간 t 와 x 의 함수로(x 방향으로 이동하는 파에 대하여) 아래와 같이 주어진다.

$$\eta = A \cos[2\pi (\frac{x}{\Lambda} - \frac{t}{T})] \tag{14}$$

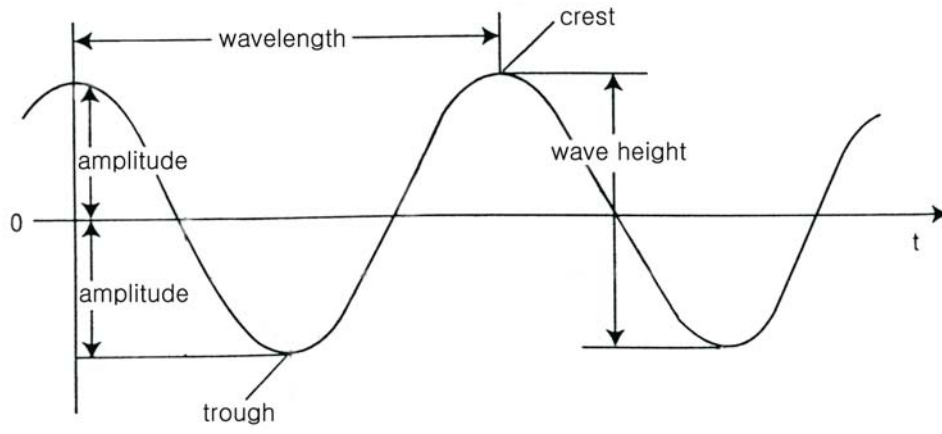


Fig. 3.1.3. Shape of wave.

식(14)는 radian 파수와 주파수를 사용하여 아래의 식(15)과 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$\eta = A \cos(kx - \omega t) \quad (15)$$

식(15)에서 cosine 함수의 $(kx - \omega t)$ 는 파의 위상이라 부르며, 이는 한 고정된 시간에 한 정점으로부터 다음 정점까지 가거나, 또는 한 고정점에서 한 주기를 지날 때 0에서부터 2π 까지 변한다. 본 연구에서 파는 상대심도(수심/파장)가 1/20보다 작아 물입자의 운동이 해저까지 닿는 천해파로 가정하였다.

유체를 비압축성, 비점성이라 가정하고, 표면장력도 무시한다면 2차원 규칙파의 속도퍼텐셜 ϕ 가 존재하며 이것을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\phi = \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (16)$$

여기서 a 는 진폭, g 는 중력가속도, σ 는 각주파수, k 는 파수이다.

수면의 상하 운동에 대한 위상이 $\eta = A \cos(kx - \omega t)$ 인 표면파 즉, 미소 진폭파의 경우에 대하여 수심 z 에서의 물 입자 속력 성분은 속도퍼텐셜의 정의에 따라 다음과 같다.

$$u = A \omega a \cos(k(h-z)) / a \cos(kh) \cdot \sin(kx - \omega t) \quad (17)$$

$$v = A \omega a \sin(k(h-z)) / a \cos(kh) \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (18)$$

제 2 절 수치계산 기법

1. 뉴마크 법

수중 유연 구조물의 운동을 지배하는 운동방정식은 식 (1)에 내력과 외력을 대입하여 정리하면 다음과 같이 시간 t 에 대한 2차 비선형 상미분 방정식의 형태로 기술된다.

$$m\ddot{\mathbf{q}}(t) + c\dot{\mathbf{q}}(t)^2 + k\mathbf{q}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (19)$$

이때 $\mathbf{q}(t)$ 는 시간에 대한 질점의 위치, $\dot{\mathbf{q}}(t)$ 는 속도, $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ 는 가속도, m 은 질량, c 는 감쇠계수 그리고 k 는 스프링의 탄성계수이며 $\mathbf{F}(t)$ 는 항력을 제외한 외력이다.

식(19)와 같이 수식화된 상미분 방정식은 초기치 문제(Initial value problem)로 풀이가 가능하다. 초기치 문제를 푸는 방법은 크게 양해법(explicit method)과 음해법(implicit method)으로 나뉘어진다.

수식화된 어구시스템의 운동방정식은 시간함수에 매우 민감한 강성방정식이다. 이러한 강성방정식을 양해법을 이용하여 수치 해석하는 경우 계산 시간의 간격을 매우 작게 해야 하며 계산 시간의 간격을 충분히 작게 하는 경우에도 결과 값의 발산, 진동 등으로 안정된 계산을 할 수 없는 경우가 많다.

이러한 경우에 사용되는 방법이 음해법이다. 음해법은 강성방정식을 수치 해석할 때, 양해법에 비해 안정적이므로 계산시간의 간격을 비교적 크게 해서 계산할 수 있다(Geradin and Rixen, 1997; 이·박, 2000; 박 등, 2001; 노 등, 1997). 대표적인 음해법으로는 후향오일러법과 Newmark- β 법이 있다(Newmark, 1959).

우선 비선형 2차 상미분 방정식의 형태로 수식화된 정치망어구 시스템을 풀기위해서 Newmark- β 법을 사용하였다. 이 방법은 정확성과 안정성을 보장하면서도 계산해야할 식의 수가 상대적으로 적어 계산 시간이 적게 드는 방법이다. 또한 양해법인 중앙차분법보다는 훨씬 복잡하지만 매우 유용하고 일반적이기 때문에 현재 많은 상용 컴퓨터 프로그램에서 이 방법을 응용하여 사용하고 있다.

식(19)와 같이 표현되는 일반적인 2차 상미분 방정식을 Newmark- β 법으로 풀이하면 다

음 식에 의해 위치(\mathbf{q})와 속도($\dot{\mathbf{q}}$)를 구할 수 있다.

$$\mathbf{q}(t + \Delta t) = \mathbf{q}(t) + \dot{\mathbf{q}}(t)\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta \right) \ddot{\mathbf{q}}(t) + \beta \tilde{\ddot{\mathbf{q}}}(t + \Delta t) \right] \Delta t^2 \quad (20)$$

$$\dot{\mathbf{q}}(t + \Delta t) = \dot{\mathbf{q}}(t) + \frac{1}{2} [\ddot{\mathbf{q}}(t) + \tilde{\ddot{\mathbf{q}}}(t + \Delta t)] \Delta t \quad (21)$$

식(20)에 포함된 가속도 $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 식(19)을 이용해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\ddot{\mathbf{q}}(t + \Delta t) = m^{-1} [\mathbf{F}(t + \Delta t) - C\dot{\mathbf{q}}(t + \Delta t) - k\mathbf{q}(t + \Delta t)] \quad (22)$$

또한, 식(20)과 (21)의 $\tilde{\ddot{\mathbf{q}}}(t + \Delta t)$ 는 가속도의 가정치로서, 가정치와 식(22)에 의한 계산값이 일치하면 계산을 종료하고 Δt 가 진행된 다음 단계의 계산을 수행한다. 그러나 가정치와 계산치가 일치하지 않을 경우에는 식(23)과 같이 상대적인 오차 ε 를 계산하여 오차가 ε 보다 작으면 다음단계의 계산을 수행하고, ε 보다 크면 반복계산을 수행한다(Geradin and Rinxen, 1997). 반복 계산 시에는 가속도의 가정치에 가속도의 계산치를 대입하여 놓고 계산하는 것이 일반적이다.

$$\left| \frac{\tilde{\ddot{\mathbf{q}}}(t + \Delta t) - \ddot{\mathbf{q}}(t + \Delta t)}{\tilde{\ddot{\mathbf{q}}}(t + \Delta t)} \right| \leq \varepsilon \quad (23)$$

2. 후향 오일러법

후향 오일러법은 후향차분근사법에 기초를 두며 계산 구간의 마지막 점에서 도함수를 계산하는 것으로부터 유도되는 형태로, 안정성을 얻을 수 있는 방법이다.

식 (19)의 2차 상미분 방정식을 후향 오일러법으로 풀이하기 위해서 변형하면

$$\ddot{\mathbf{q}}(t) = \frac{1}{m}(\mathbf{F}(t) - c\dot{\mathbf{q}}(t) - k\mathbf{q}(t)) \quad (24)$$

이와 같으며, 다음과 같이 후향 오일러법으로 위치와 속도를 구할 수 있다.

$$\mathbf{q}(t + \Delta t) = \mathbf{q}(t) + h \times \dot{\mathbf{q}}(t + \Delta t) \quad (25)$$

$$\dot{\mathbf{q}}(t + \Delta t) = \dot{\mathbf{q}}(t) + h \times \ddot{\mathbf{q}}(t + \Delta t) \quad (26)$$

식 (25)와 식 (26)의 우변의 마지막 항인 속도와 가속도는 오일러 방법으로 구하여 그 값을 초기 예측값으로 사용한다.

제 3 절 수치해석 방법의 비교

수치해석 방법들의 계산 시간 간격에 따른 오차의 범위와 수치해석 방법들의 계산 속도와 안정성을 비교한 연구는 많이 있다(Wood et al, 1997; 노 등, 1997, Geradin, 1997; 이 · 박, 2001; 박 등, 2001). 그러나 이들 연구의 대부분은 강성이 크지 않은 일반적인 미분방정식의 해에 관한 해석들이고, 어구시스템과 같이 시스템의 강성이 전체적으로 크고, 특히 시스템의 요소 사이의 강성의 차이가 큰 시스템에 대해서는 거의 연구된 바가 없다.

본 연구에서는 정식화된 정치망시스템을 수치해석하기 적합한 수치해석 방법을 찾기 위해 대표적인 수치해석 방법들의 정확성과 계산 속도를 비교하였다.

1. 알려진 해를 이용한 오차 비교

수치해석을 이용한 계산법 중 대표적인 양해법으로써 오일러법과 룬지쿠타법, 음해법으로써는 뉴마크-베타법과 후향오일러법을 결과해가 알려져 있는 간단한 질량-스프링 모델에 적용하여 결과해의 오차를 비교하였다. Fig. 3.3.1.는 수치해석 방법들의 정확도를 비교하기 위해 사용된 간단한 질량-스프링 시스템이다(남 · 김, 1983).

Fig. 3.3.2.는 Fig. 3.3.1.의 간단한 질량-스프링 시스템의 수치해석 결과를 나타낸 그래프이다. 각 방법에 의한 수치해석의 결과를 보면 오일러 방법의 경우는 발산하지만 후향오일러법과 룬지쿠타법, 그리고 뉴마크-베타법 의한 계산의 결과는 실제 해와 구별하기 힘들 정도로 거의 일치한다.

따라서 질량-스프링 모델에 룬지쿠타법과 뉴마크-베타법, 후향오일러법을 적용하여 수치해석하면 정해와 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있지만 오일러의 방법은 질량-스프링 모델에 대한 수치해석하는 방법으로는 적절하지 못하다는 것을 알 수 있다.

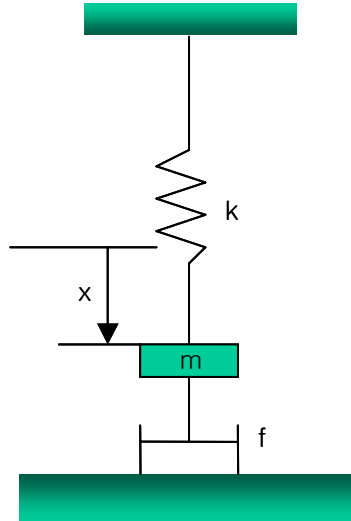


Fig. 3.3.1. Simplified mass-spring system.

$h=0.1s$, $k=80N/m$, $m=2kg$, $f=4kg/m/s$, $x(0)=0m$, $dx/dt(0)=8m/s$

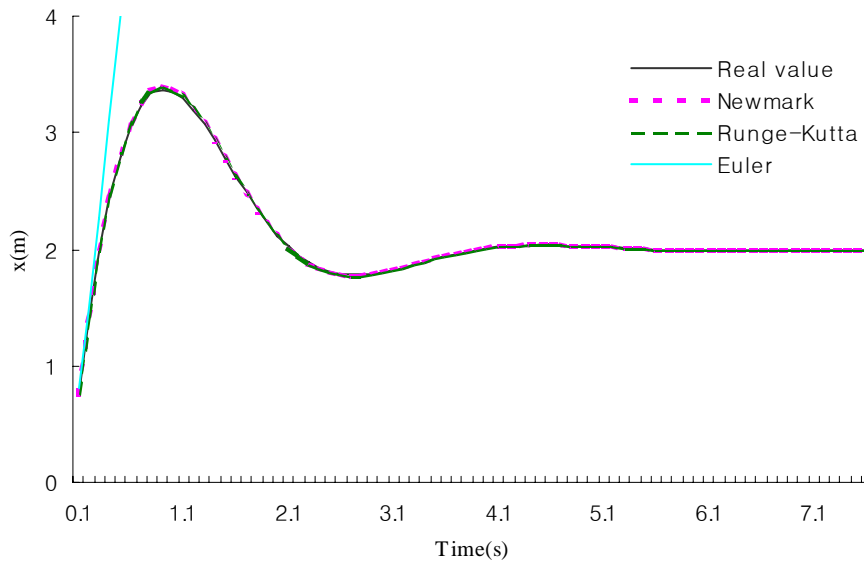


Fig. 3.3.2. Accuracy comparison between the Euler, Runge-Kutta, Newmark- β Method and real value from Fig. 3.2.1.

2. 계산 시간의 비교

본 절에서는 간단한 가상망지에 대한 정보를 컴퓨터상에 데이터화 하여 가상망지의 형상과 움직임을 시뮬레이션하고 그 결과가 나오는 동안의 계산 시간을 측정하여, 각 방법들의 계산에 필요한 시간을 비교하였다. 비교의 대상이 된 계산방법은 앞 절에서 정확성을 비교한 계산에서 거의 동일한 결과를 보였던 후향오일러법과 룬지쿠타법, 뉴마크-베타법이다.

계산 시간의 비교를 위해 가상망지를 동일하게 구성하여 프로그래밍하였다. 가상망지는 가로 12코, 세로 8코의 망지였으며 네 모서리를 고정하였고, 가상망지의 3군데 위치에 각각 0.3, 1.0 그리고 0.2 kg의 하중을 주어 그 하중에 의한 망지의 처짐 정도를 시뮬레이션 하였고 외력은 하중 외에 망지의 무게는 없는 것으로 가정하였고, 처짐 속도에 0.4를 곱하여 그 값을 항력으로 설정하였다. 이때, 계산 간격은 0.02s였다.

계산에 사용된 컴퓨터 언어는 계산결과의 변별을 확보하기 위해 다른 언어에 비해 비교적 계산속도가 느린 Visual Basic 6.0이었다.

Fig. 3.3.3.은 수치해석의 결과로써, 각 그림은 계산 시간이 경과함에 따른 망지의 시뮬레이션의 결과이다. 결과에서 보이는 것과 같이 후향오일러법을 이용하는 것이 나머지 두 방법에 의해 계산하는 것보다 빠른 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 후향오일러법의 방정식의 수가 뉴마크-베타법과 룬지쿠타법의 방정식의 수보다 적기 때문이며, 계산이 진행되어 계산이 안정되기 시작하면 후향오일러법의 반복 계산 횟수가 줄어들어 계산의 속도가 더욱 빨라지기 때문이다.

이러한 계산의 차이에 따른 이점은 계산해야할 방정식이 많을수록, 즉 정치망 어구시스템과 같이 대형의 시스템을 수치해석 해야 할 때 매우 효율적이다.

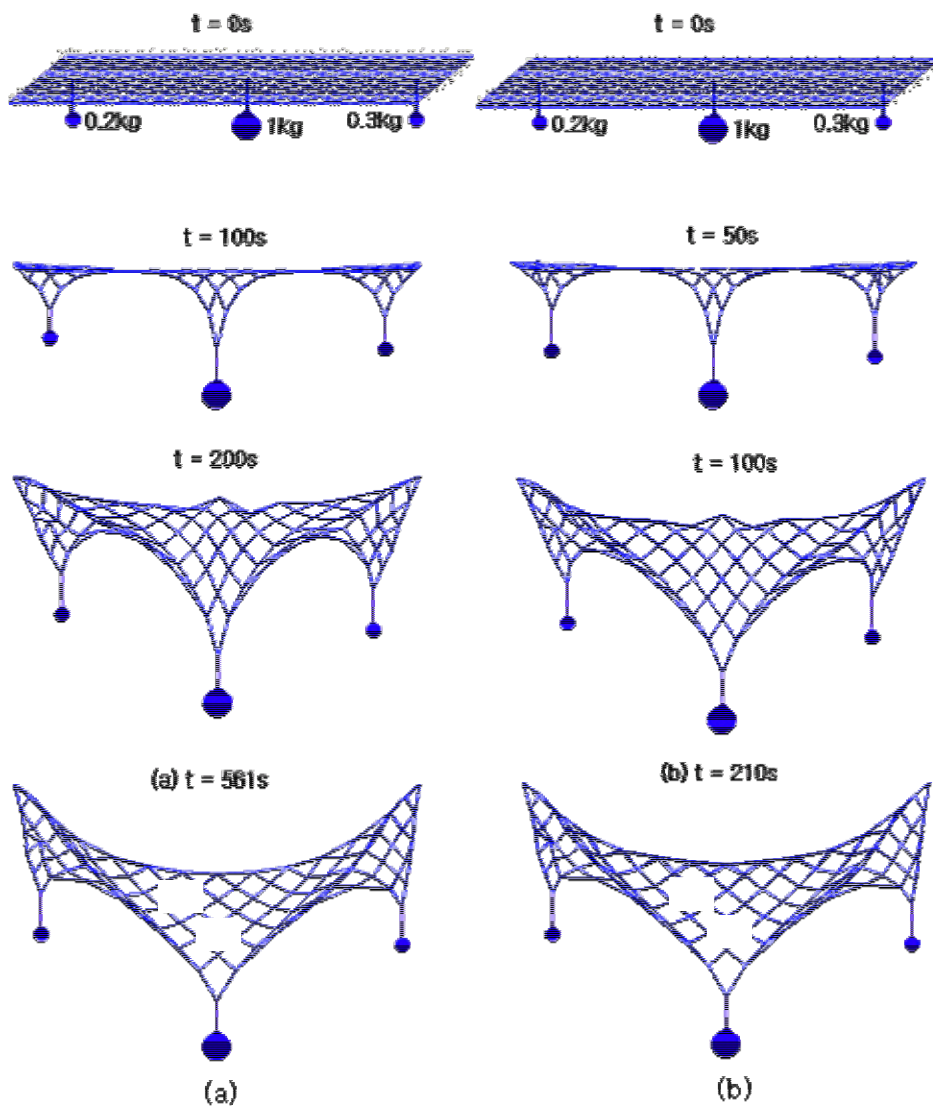


Fig. 3.3.3. Calculation result from Runge-Kutta Method(a) and Newmark- β Method(b).

제 4 절 실물망지의 시뮬레이션

1. 실물실험

사각형의 실물망지에 대해서 네 모서리를 고정하여 공중에 설치하고 중간의 세 곳에 추를 매달아서 망지의 처짐 정도를 실험하였다(Fig. 3.4.1.). 실험한 실물망지와 물리적 조건이 같은 가상공간상의 망지에 대해 그 거동과 형상을 시뮬레이션 하여 본 연구에서 제시한 시뮬레이션 방법이 망지와 같은 유연구조물의 시뮬레이션에 적용 가능성을 검토하였다.

실물망지와 가상망지는 모두 가로 12코, 세로 8코의 같은 망지였으며, 실물망지에서는 그물의 F1, F2, F3의 위치에 각각 1.5, 0.5 그리고 0.7kg의 무게를 가진 추를 달아서 추의 무게에 의한 그물의 처짐 정도를 사진으로 촬영하였고, 가상망지에서는 실물망지와 같은 위치에 같은 하중을 주어 시뮬레이션하고 이를 그래픽으로 나타내었다. 이때, 시뮬레이션을 위해 사용된 컴퓨터 프로그래밍 언어는 VisualC++이며, 그래픽 라이브러리는 OpenGL 이었다.

실험에 사용된 그물의 특성과 시뮬레이션을 위한 각 종 계수 및 계산 조건은 Table 3.4.1.에서 보는 바와 같다.

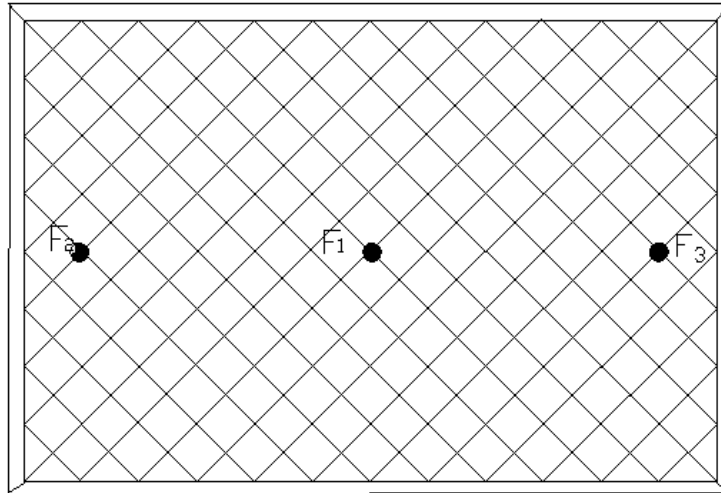


Fig. 3.4.1. Calculation and real experimentation model with the external forces F .

Table 3.4.1. The condition for the simulation and real experimentation

d (mm)	l (mm)	Stiffness (N/m)	h (s)	TYPE
0.4	100	10000	0.002	PE(Knot)

* d : diameter of a bar, l : length of a bar, h : time step

2. 시뮬레이션 결과와의 비교

Fig. 3.4.2.과 Fig. 3.4.3.은 본 연구에서 제안한 어구시스템에 대한 시뮬레이션 방법이 그물과 같이 유연한 구조물의 형상과 거동을 예측하는데 적합한지 여부를 평가하기 위해 수행된, 실물실험과 가상의 공간에 데이터화된 그물에 대한 시뮬레이션의 결과를 비교한 것으로서, 각각 실물실험의 결과를 사진으로 찍은 것과 시뮬레이션의 결과를 3차원 그래픽으로 표시하여 나타낸 것이다.

그림을 비교하면 두 결과가 거의 일치한다는 것을 보여준다. 이러한 결과로부터 본 연구에서 제안하는 시뮬레이션 방법을 이용하여 그물과 같은 유연구조물의 형상과 움직임을 해석하는 것이 가능하다고 판단된다.

본 시뮬레이션의 결과를 통해 제시된 시뮬레이션 방법의 정확성을 확인하였으며, 본 시뮬레이션의 결과가 나오기까지의 계산 시간을 측정하여 실물 어구를 시뮬레이션 하는 경우 필요한 계산 시간을 예측하였다.

본 시뮬레이션의 경우 질점이 213개로 구성되어 있었으며, 계산간격을 0.002초로 계산하였는데 계산에 필요한 시간은 약 1분이었다. 이를 토대로 하면, 정치망 어구시스템을 시뮬레이션 하는 경우 약 2,000개에서 4,000개의 질점이 필요하므로 정치망어구 시뮬레이션에 필요한 시간은 대략 20분에서 40분 정도로 추산할 수 있으며 좀더 세밀한 시뮬레이션을 위해 1만개 정도의 질점으로 어구를 구성하더라도 1시간 정도면 계산이 가능하다. 이러한 계산 속도라면 일반적인 PC에서도 실용적인 시뮬레이션이 가능할 것으로 판단된다.

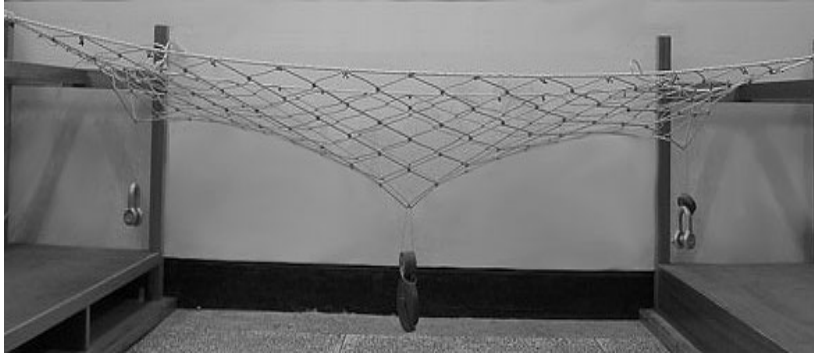


Fig. 3.4.2. Result of experimentation.

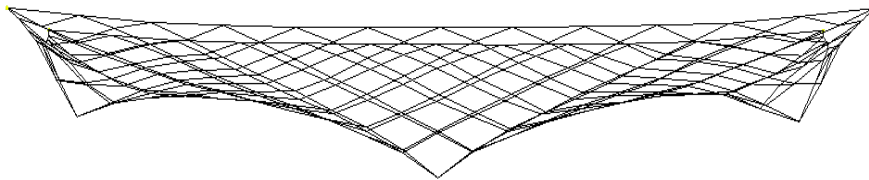


Fig. 3.4.3. Simulated net shape with weight.

제 4장 정치망 설계도면 작성 및 그래픽 프로그램 개발

제 1 절 정치망 어구 설계용 프로그램

1. 정치망 어구 설계용 프로그램의 구조

정치망 어구 설계용 프로그램은 디자인과 시뮬레이션 모드로 구분되어 있다. 디자인모드는 실제 어구의 속성으로 설계를 하는 부분이며, 시뮬레이션 모드는 디자인부분을 바탕으로 시뮬레이션을 위한 간략화 및 시뮬레이션 파일로 변환 할 수 있는 설계도를 만드는 작업을 한다.

Fig. 4.1.1.은 설계용 프로그램의 전체 모습을 보여준다.

Table. 4.1.1은 설계프로그램의 아이콘에 대한 설명을 보여준다.

Fig. 4.1.2에서 Fig. 4.1.7은 기본 메뉴에 대한 설명을 보여준다.

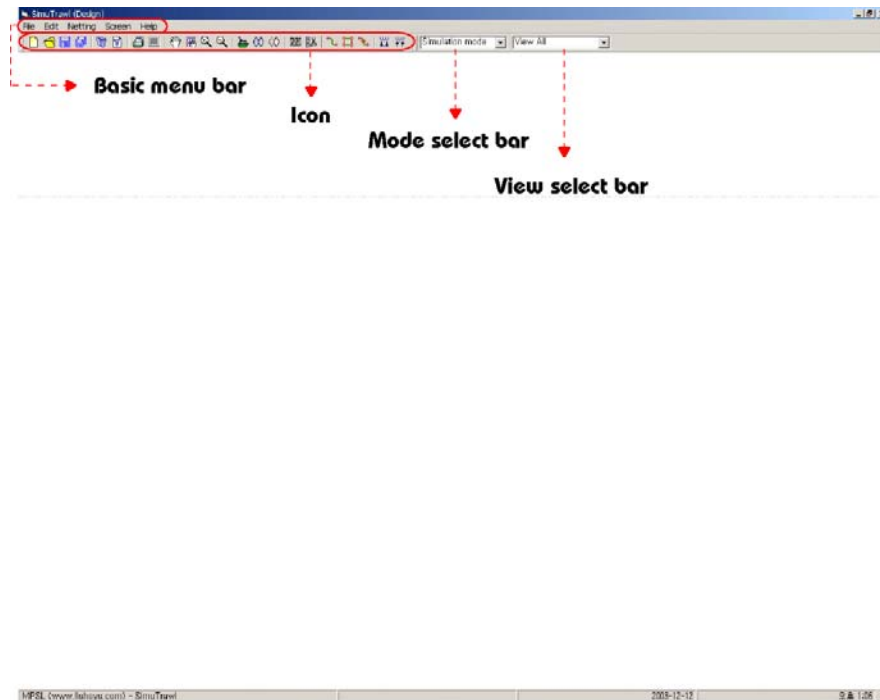


Fig. 4.1.1. Window of the design program.

Table. 4.1.1. Function of the icons of the design program.

 : 새로운 그물 설계	 : 파일 열기
 : 파일 저장	 : 프린트
 : 다른 이름으로 저장	 : 질점간의 연결 설정
 : 힘줄간의 연결 설정	 : 연결 설정 취소
 : 판넬 추가	 : 망목 삭제
 : 힘줄 넣기	 : 힘줄 삭제
 : 그리드 간격 줄이기	 : 그리드 간격 늘리기
 : 시뮬레이션 파일 생성	 : 판넬 이동
 : 화면 이동	 : 화면 확대
 : 화면 축소	
Simulation mode : 설계 모드 선택	View All : 표시 모드 선택

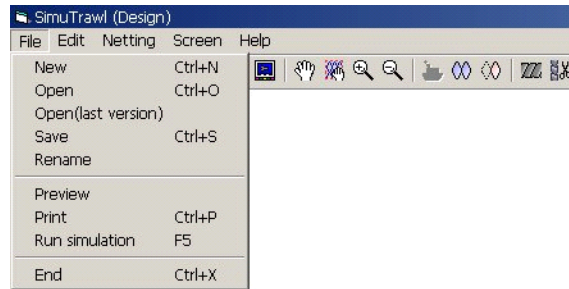


Fig. 4.1.2. File menu.

New(Ctrl+N) : 새로운 그물 설계

Open(Ctrl+O) : 파일 열기

Save(Ctrl+S) : 파일 저장

Rename : 다른이름으로 파일 저장

Preview : 프린팅을 위한 설정부분 보이기

Print(Ctrl+P) : 프린트

Run simulation(F5) : 시뮬레이션을 위한 파일 생성

End(Ctrl+X) : 프로그램 종료

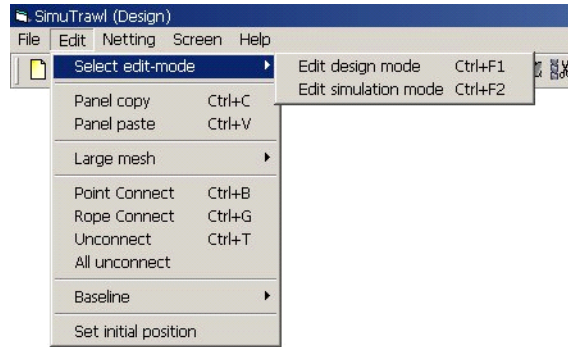


Fig. 4.1.3. Edit menu.

Edit design mode(Ctrl+F1) : 디자인모드에서 설계

Edit simulation mode(Ctrl+F2) : 시뮬레이션 모드에서 설계

Panel Copy(Ctrl+C) : 판넬 복사

Panel Paste(Ctrl+V) : 복사한 판넬 붙이기

Point connect(Ctrl+B) : 질점간 연결 설정

Rope connect(Ctrl+G) : 힘줄간 연결 설정

Unconnect(Ctrl+T) : 연결 설정 해제

All Unconnect : 설계파일의 모든 연결 설정 해제

Set initial position : 파일을 불러올 때 기준 위치 설정

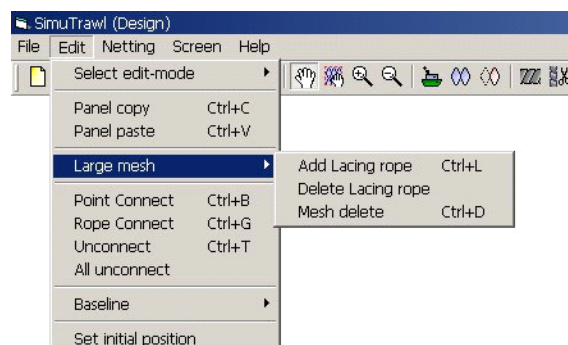


Fig. 4.1.4. Large mesh menu.

Add Lacing rope(Ctrl+L) : 힘줄 추가

Delete Lacing rope : 힘줄 삭제

Mesh delete(Ctrl+D) : 질점 삭제

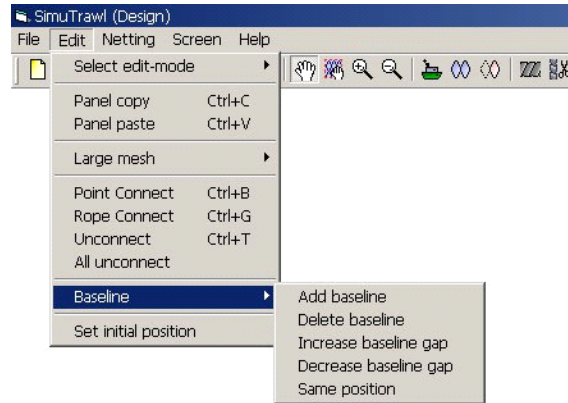


Fig. 4.1.5. Baseline menu.

Add baseline : 원하는 위치에 그리드 추가

Delete baseline : 그리드 및 해당 그리드 상의 모든 판넬 삭제

Increase grid gap : 그리드 간격 늘리기

Decrease grid gap : 그리드 간격 줄이기

Same position : 디자인 그리드와 시뮬레이션 그리드 위치 일치시키기

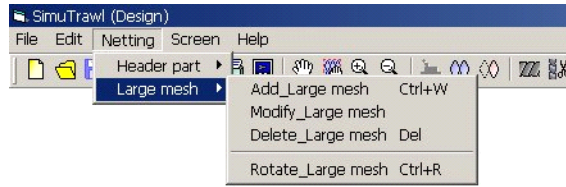


Fig. 4.1.6. Lage mesh menu.

Add Large mesh(Ctrl+W) : 판넬 추가

Modify Large mesh : 판넬 수정

Delete Large mesh(Del) : 판넬 삭제

Rotate Large mesh(Ctrl+R) : 판넬 회전

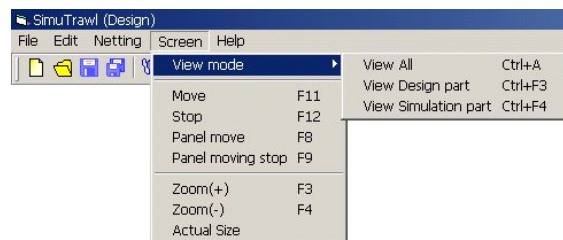


Fig. 4.1.7. Screen menu.

View mode : 모드 설정

View all(Ctrl+A) : 디자인 및 시뮬레이션 모드의 설계 모드 화면 표시

View Design part(Ctrl+F3) : 디자인 모드의 설계만 화면 표시

View Simulation part(Ctrl+F4) : 시뮬레이션 모드의 설계만 화면 표시

Move(F11) : 화면 이동

Stop(F12) : 화면이동 중지

Panel move(F8) : 판넬 이동

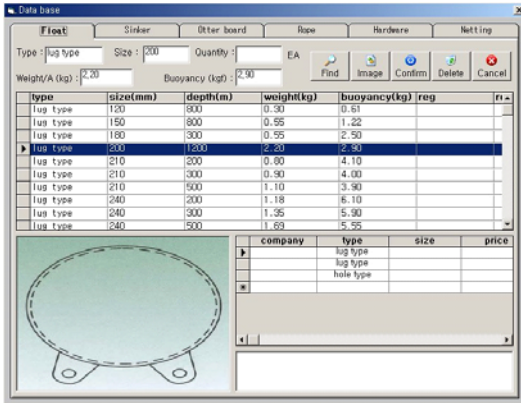
Panel moving stop(F9) : 판넬 이동 중지

Zoom(+)(F3) : 화면 확대

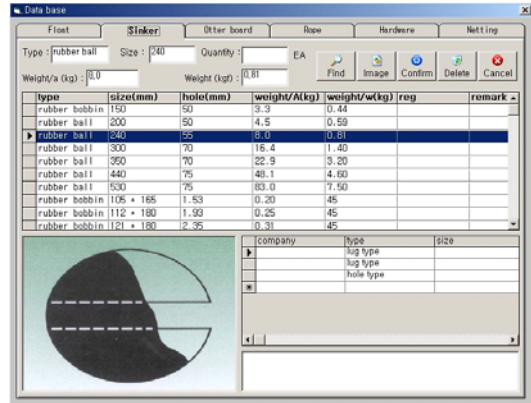
Zoom(-)(F4) : 화면 축소

Actual Size : 화면크기 기본 설정으로 되돌리기

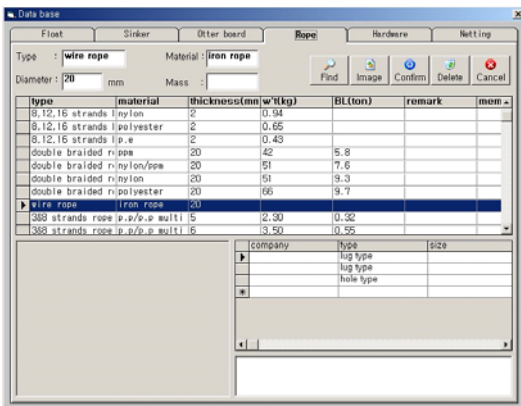
본 프로그램은 판넬의 속성 입력 시 기존에 제공하는 데이터베이스를 이용하여 입력하거나 사용자가 원하는 속성을 직접 데이터베이스에 추가, 삭제 할 수 있는 기능이 있다. Fig. 4.1.8.은 데이터베이스 창을 보여준다.



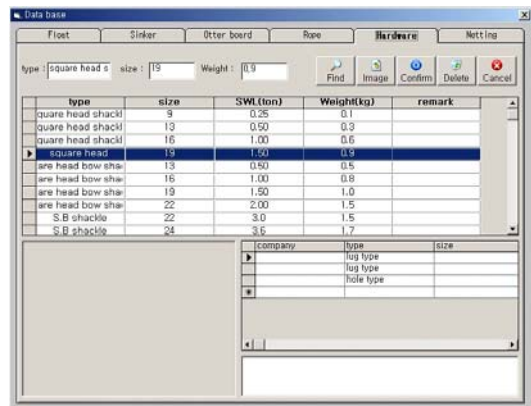
(a)



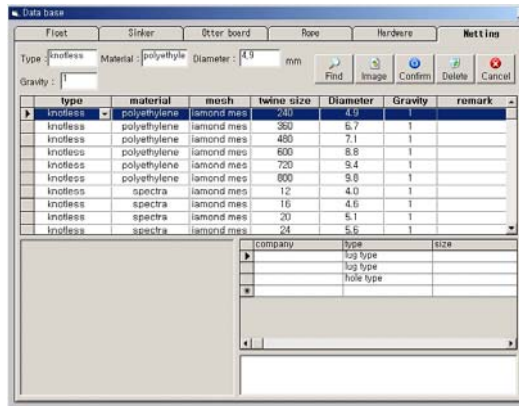
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 4.1.8. Database window.

(a) Float, (b) Sinker, (c) Rope, (d) Hardware, (e) Netting

2. 정치망의 구조 결정도구

정치망은 편낙망을 기본형으로 하고 있으며 해저 지형, 조류의 방향과 같은 어장 조건과 어군의 내유 방향과 도피 능력 등의 어군 행동 특성을 고려하여 어구 구조를 결정하고, 이를 설치한다. 발전된 정치망의 종류에는 이중 낙망, 이단식 낙망, 양낙망 등이 있다.

본 설계 프로그램에서는 현재 정치망에서 가장 많이 사용되고 있는 5종류의 정치망에 대한 모듈을 제공함으로써, 설계하고자 하는 정치망 구조를 선택하여 해당 부분의 수치 입력만으로 간단히 설계를 완성할 수 있도록 하였다. 또한 특수한 설계 조건을 요구할 경우에는 어구의 목적에 따라 사용자가 직접 판넬을 생성하여 각각을 결합함으로써 다양한 구조의 어구를 설계할 수 있도록 하였다.

본 프로그램에서는 구조를 생성하는 방법으로 자동 생성 시스템, 프레임 생성 시스템, 사용자 정의 임의구조 생성 시스템과 같은 총 3가지의 구조 생성 시스템을 제공하고 있다.

구조 자동 생성 시스템은 총 5종류의 정치망 모듈을 제공하고 있으며, 이를 이용하여 설계 과정에서 드는 시간과 노력을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 보다 정확한 어구를 설계할 수 있다. Fig. 4.1.9.는 판넬 자동 생성 시스템의 초기 화면으로 설계하고자 하는 구조의 정치망의 그림을 선택하고 OK버튼을 누르면, Fig. 4.1.10.과 같이 전체 구조도와 각부의 길이 입력과 기본적인 속성을 입력하는 창이 생성된다.

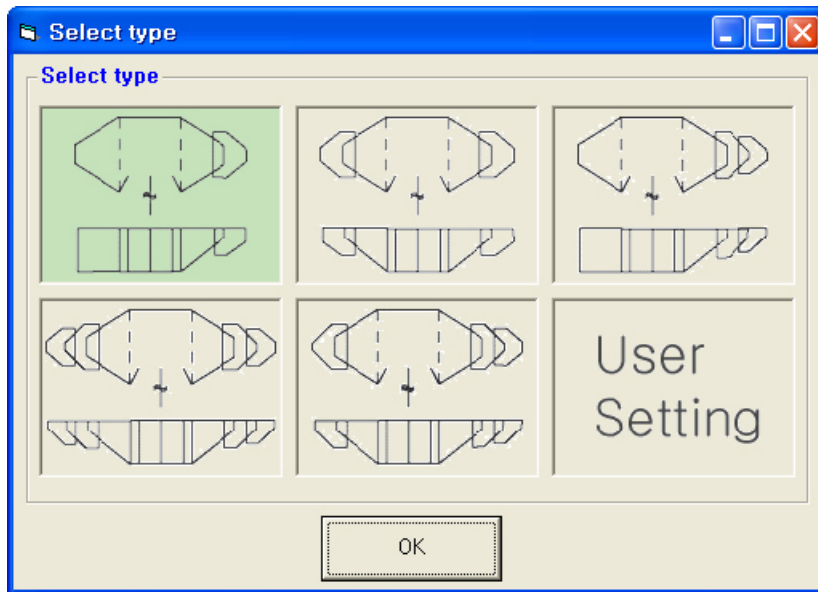


Fig. 4.1.9. Auto-creating system of the pound net structure.

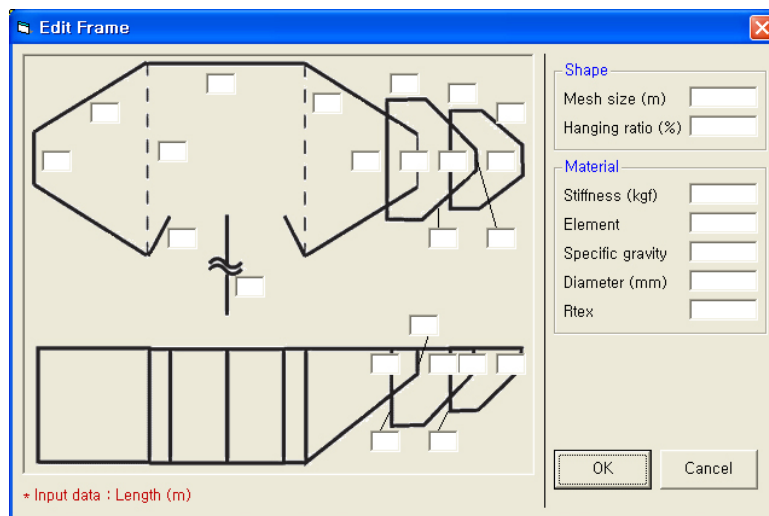


Fig. 4.1.10. Property window of auto-creating system of panels.

Fig. 4.1.10.은 이중편낙망을 선택하였을 때 생성된 창을 나타낸 것으로, 이중 편낙망을 설계하기 위해 필요한 모든 세부구조가 자동 생성되기 위한 길이와 기본 속성을 입력 하는 부분이다. 여기에서 사용자는 어구의 각 영역에 설계하고자 하는 형상대로 수치를 입력함으로써 간단히 이중편낙망을 구성하는 전체 구조를 자동 생성 할 수 있다.

Fig. 4.1.11.은 수치 입력을 완료한 후 생성되는 창으로, 어구를 구성하는 각 망지들이 기준선을 기준으로 평면적으로 나열되어 나타난 것을 보여준다.

본 프로그램에서는 사용자의 어구 설계 위치에 대한 이해를 돕기 위해, 그림의 오른쪽 상단에 위치해 있는 것과 같은 보조창을 두었다. 이것은 나열되어 있는 구조 중 어느 한 부분을 선택하였을 경우 선택된 부분이 정치망의 어느 부분에 위치해 있는지를 각각 위(상단)와 측면에서 보았을 때로 나누어 나타낸다.

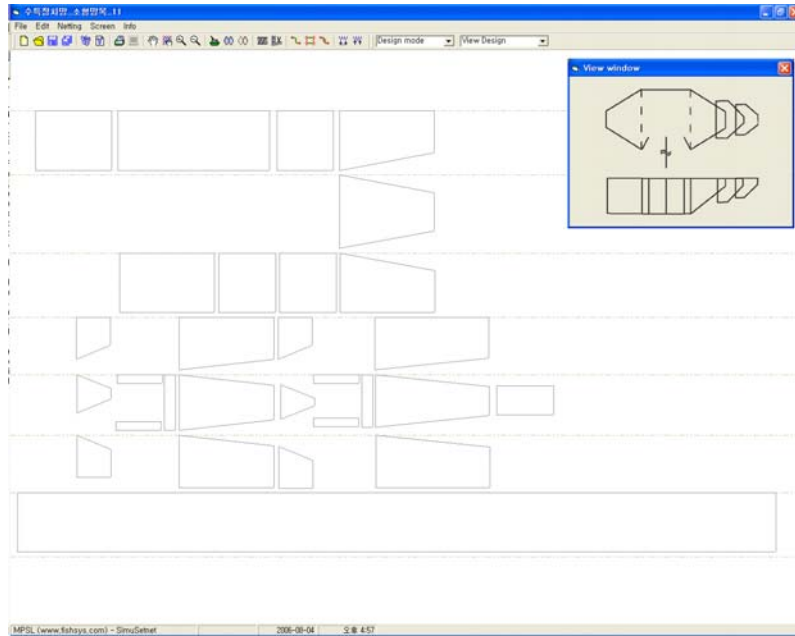


Fig. 4.1.11. Created panels by auto-creating system of panels.

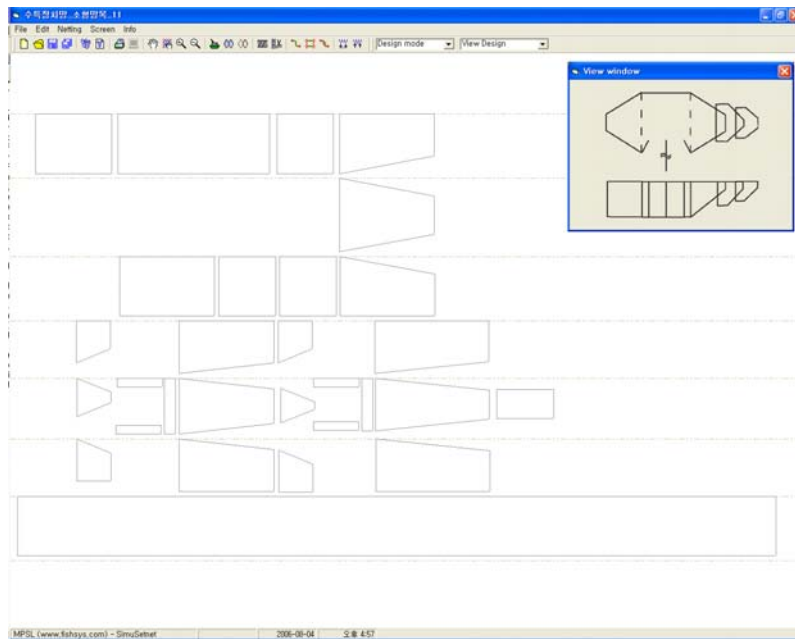


Fig. 4.1.12. Created panels by auto-creating system of panels.

3. 임의 형상 정치망 설계 도구

사용자가 설계하려는 어구의 구조가 특수한 경우에는 기본구조 생성 시스템과 사용자 정의 구조 생성 시스템을 이용하여 필요로 하는 형상의 정치망을 설계할 수 있다.

프레임 생성 시스템은 정치망의 각 부분을 정형화 시킨 형상에 사용자가 원하는 수치를 입력하여 설계도를 작성하는 방법이다. Fig. 4.1.13.은 정치망의 각 부분에 대한 프레임 생성 시스템에서 제공하는 모듈이다. 시스템의 왼쪽에 배치되어 있는 4가지의 이모티콘을 선택하여 설계하려는 정치망의 부분을 선택하면, 화면의 중앙에 그 부분을 구성하는 판넬들이 나타난다. 여기에서 설계하려는 어구의 규모에 대한 수치를 입력하고, 마지막으로 판넬에 입힐 망지의 속성을 오른쪽에 나타나있는 속성창에 입력한다.

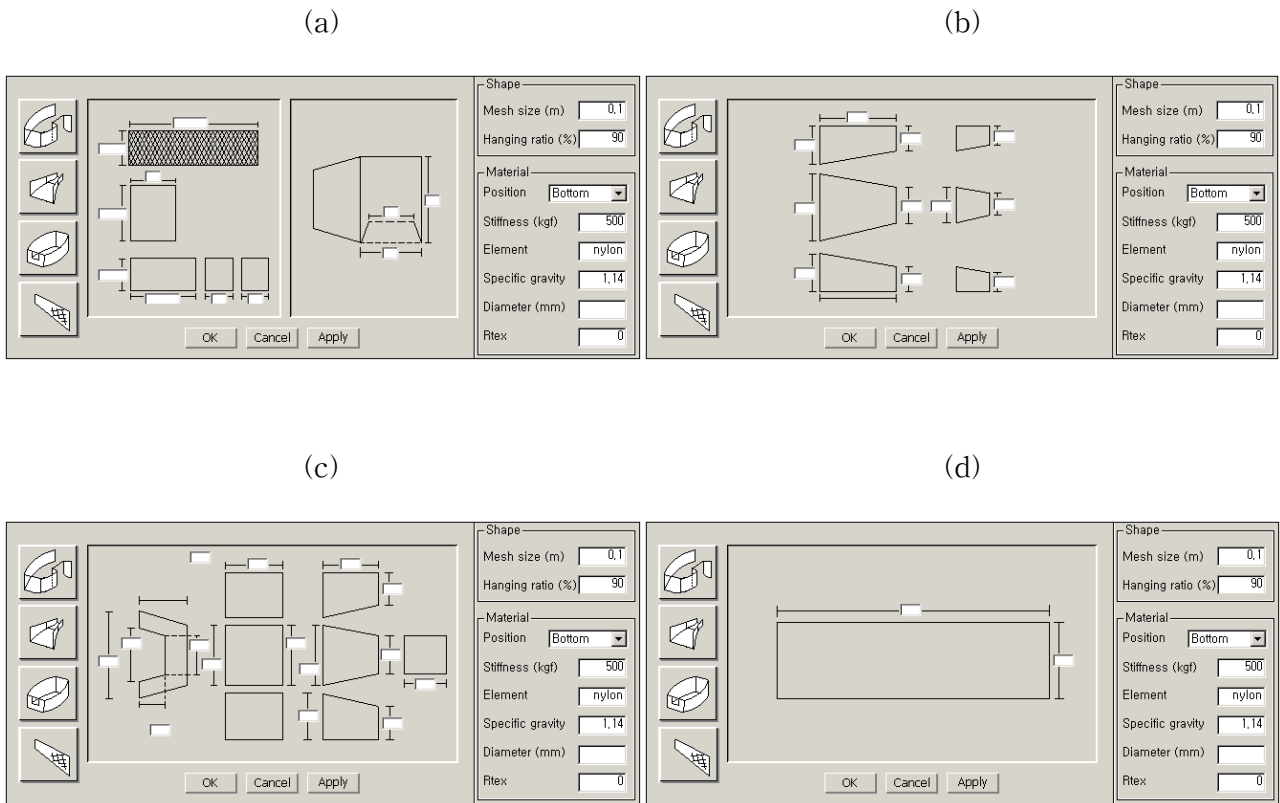


Fig. 4.1.13. User-Interfaced auto-creating of pound net modules.

- (a) Creating frame modules of fishing ground and windows.
- (b) Creating frame modules of ascend net.
- (c) Creating frame modules of bag net.
- (d) Creating leader net.

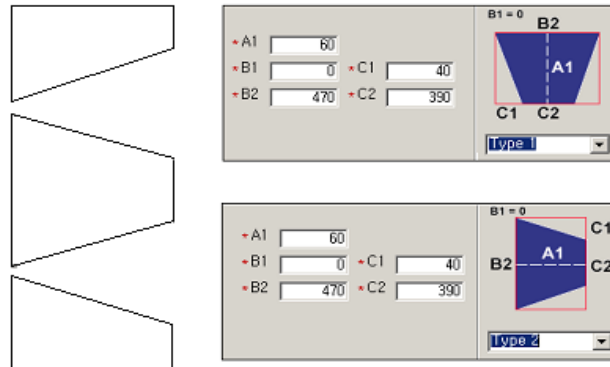
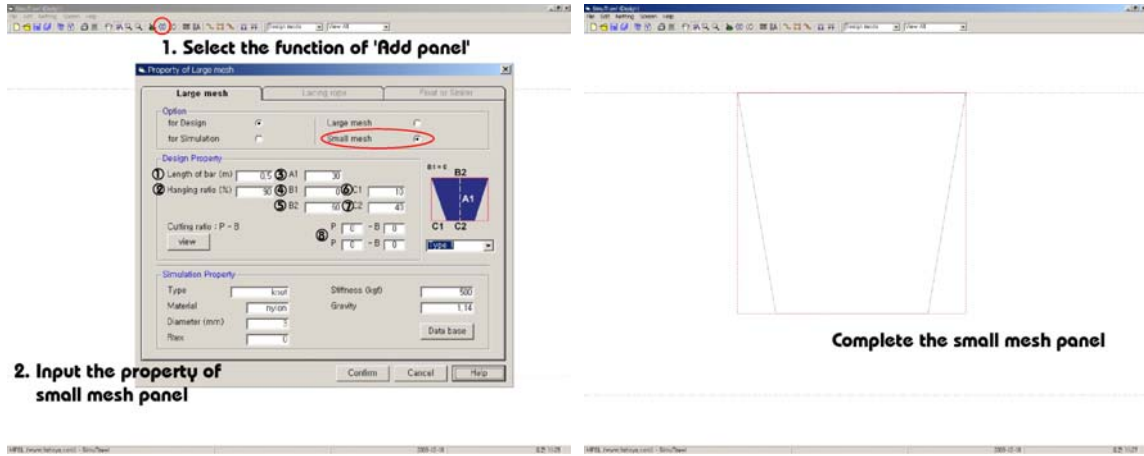


Fig. 4.1.14. Property of creating user-defined panels.

사용자 정의 망지 생성 시스템은 정치망의 각 부분을 구성하는 모든 망지들을 개별적으로 생성할 수 있는 시스템으로, Fig. 4.1.14와 같은 속성창을 이용하여 사용자가 원하는 형상의 망지를 설계할 수 있다. 망지의 형상은 사각형을 기본형으로 하되 수치 입력에 따라 삼각형 형상으로도 설계할 수 있다. 모든 망지를 일일이 설계해야하는 불편함이 있지만 어떠한 형상의 망지도 생성할 수 있으므로 특수한 구조의 어구를 설계할 경우 매우 유용하다.

Fig. 4.1.15.는 망지에 뜬과 침자를 추가할 경우 속성창 입력의 예를 보여준다.

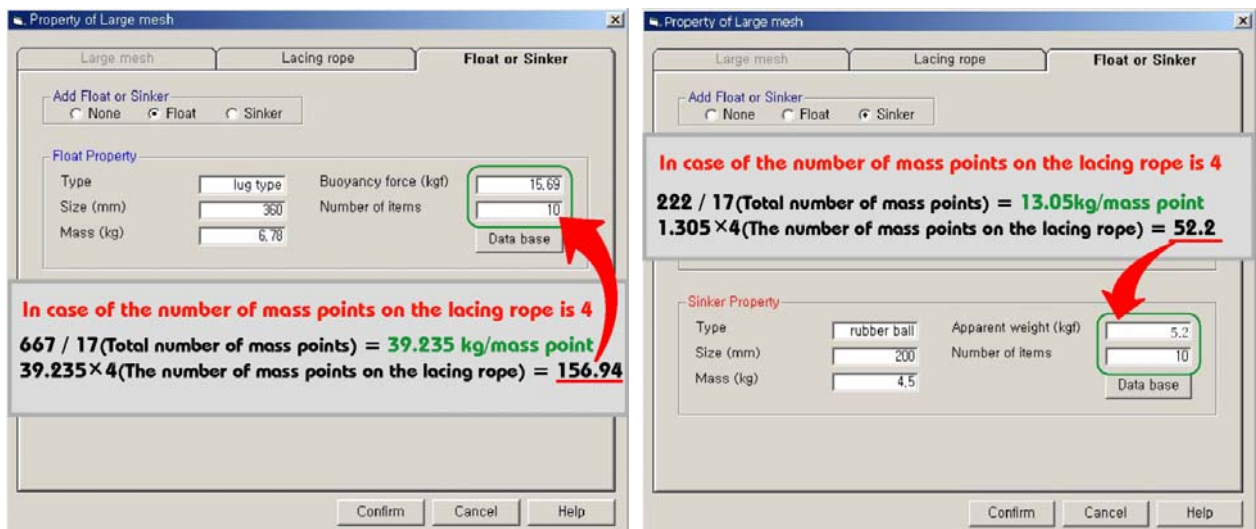


Fig. 4.1.15. Float and Sinker property window.

4. 망지 선택 및 사단

판넬 자동 생성 시스템, 프레임 생성 시스템, 사용자 정의 판넬 생성 시스템을 이용하여 정치망의 모든 구조를 결정한 후에는 각 판넬에 쓰워질 망지를 선택해야 한다. 망지는 정치망의 각 부분, 설치 어장의 지리적, 환경적 조건 등에 따라 달라지므로, 해당하는 판넬을 선택하여 거기에 사용될 망지의 세부적인 속성을 입력해야한다. 이때, Fig. 4.1.16., Fig. 4.1.17.과 같이 그물과 힘줄 속성 데이터베이스를 이용하여 보다 정확하고 간편하게 입력할 수 있다.

각 영역에 모든 속성을 입력하면 망지가 생성되며, 생성된 망지는 해당 판넬의 형상에 맞게 사단한다. Fig. 4.1.8.에서 보여주는 것과 같은 방법으로 해당 판넬 위에 망지를 배치하여 형상에 맞도록 사단한 다음, 이를 판넬과 결합한다. Fig. 4.1.9.는 망지 사단 과정을 통해 판넬에 그물이 입혀진 형상을 보여주고 있다.

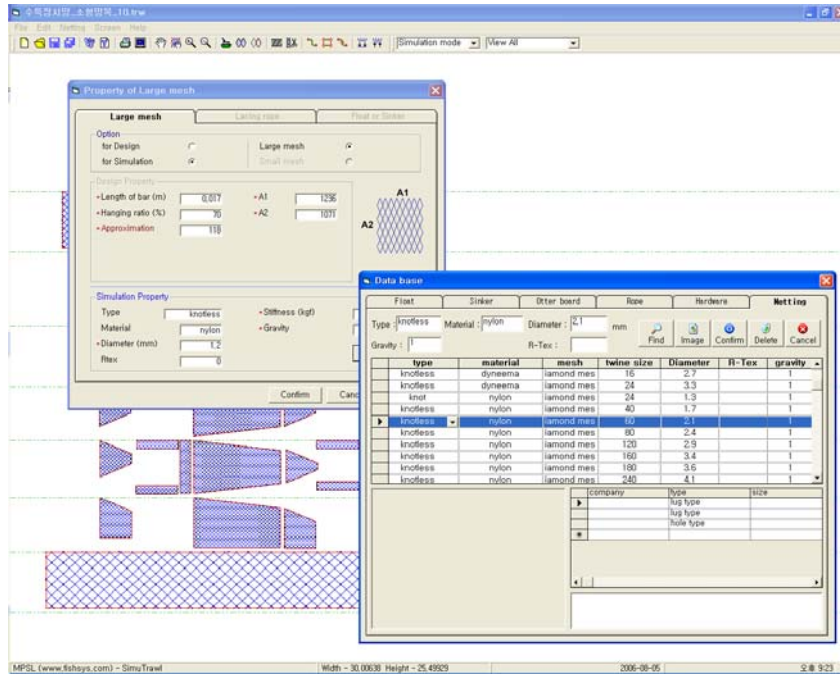


Fig. 4.1.6. Database of net property.

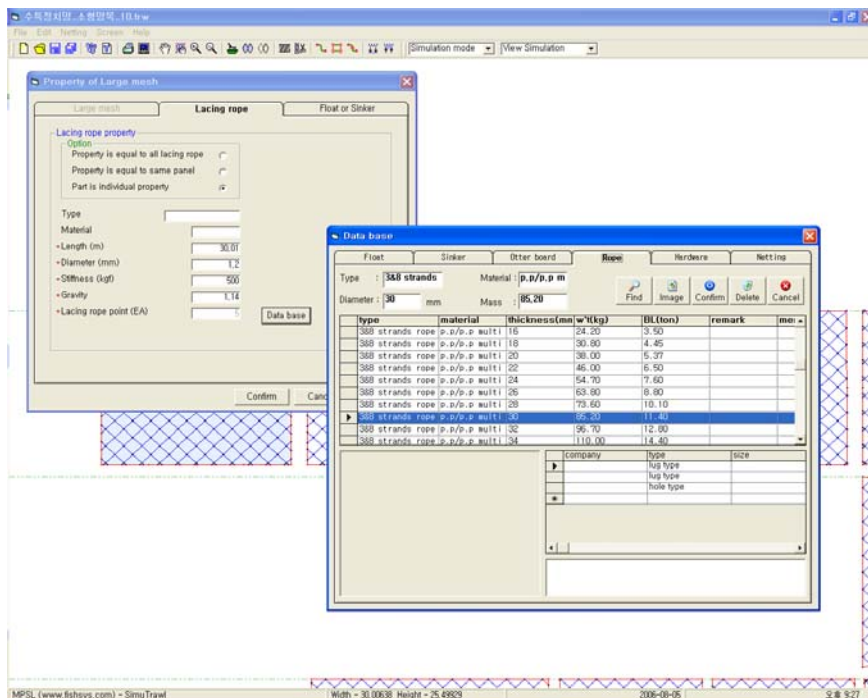


Fig. 4.1.7. Database of lacing rope property.

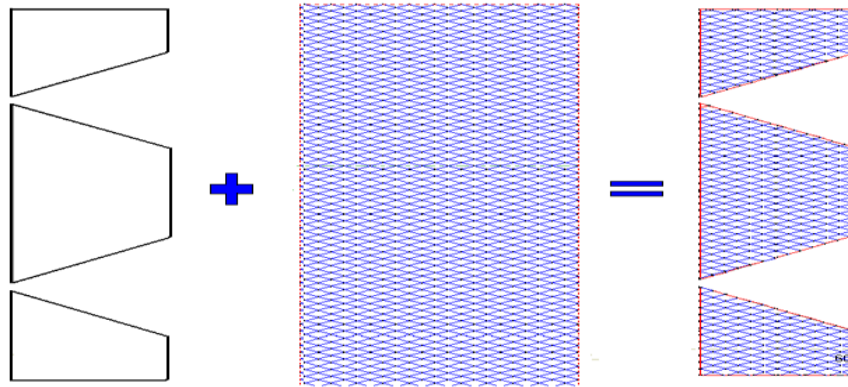


Fig. 4.1.8. Process to create the tapered nets.

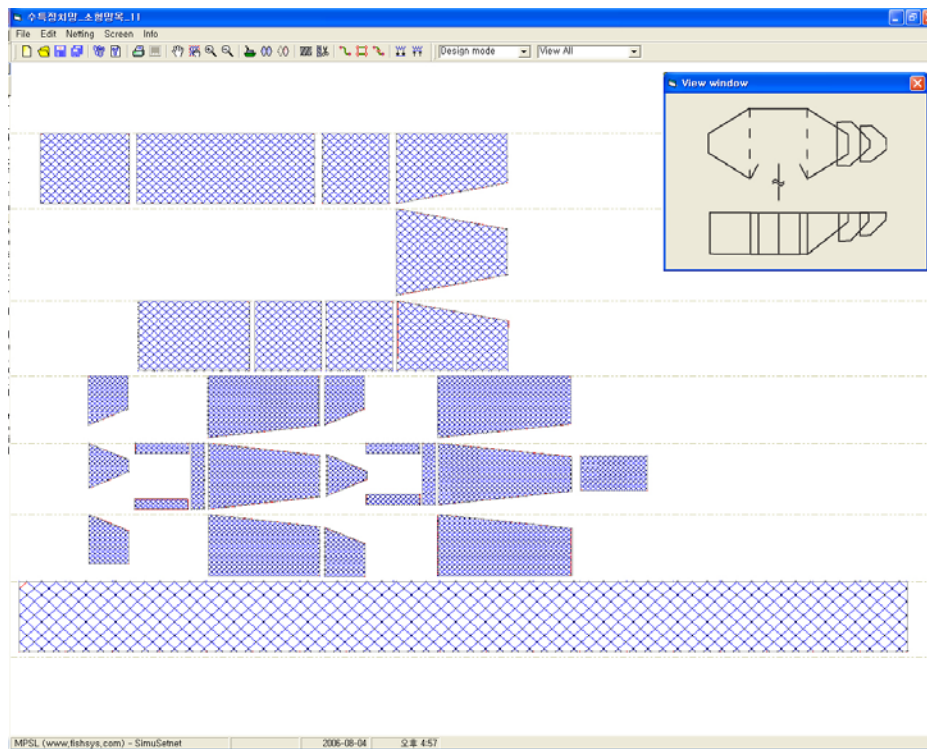


Fig. 4.1.9. Created nets to each panel.

5. 망지와 명줄의 결합

모든 판넬에 망지가 결합되면, 'connection' 기능을 이용하여 각 망지를 연결시킨다. 이 과정을 통해 평면적으로 나열되어 있는 판넬을 프로그램 내에서 3차원으로 정비하여 인식하게 된다. Fig. 4.1.10.은 모든 판넬들을 결합(connection)기능으로 연결된 모습을 보여주고 있다.

이 결합과정은 정치망 설계 프로그램의 마지막 단계로, 설계된 정치망 어구의 각 부분을 결합하고 부속구에 대한 세부적인 규격을 입력시킴으로써 정치망의 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 반드시 필요한 과정이다. 부속구 역시 그물부와 마찬가지로 Fig. 4.1.11.과 같이 부속구 데이터베이스를 이용하여 보다 간단하고 정확하게 값을 입력할 수 있다.

다음의 Fig. 4.1.12.는 설계 프로그램을 이용하여 설계된 이중 편낙망을 가시적으로 나타낸 그림이다.

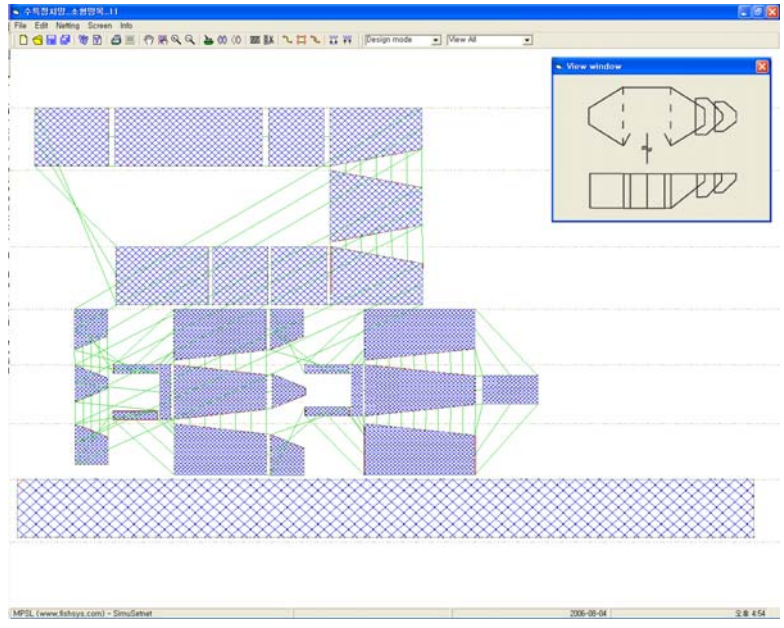


Fig. 4.1.10. Connected panels using the 'connection' function.

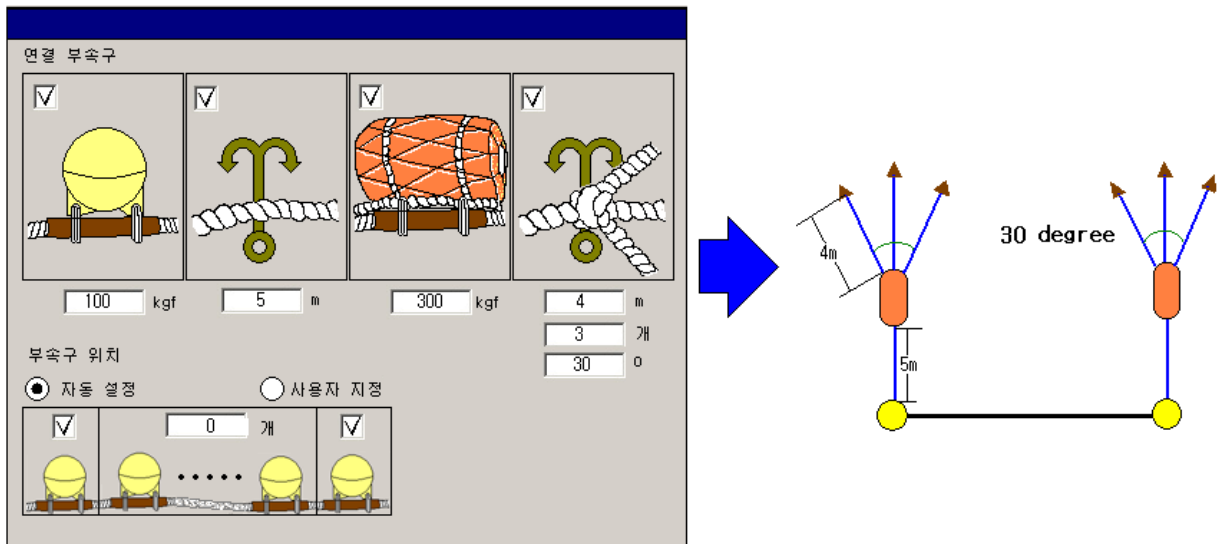
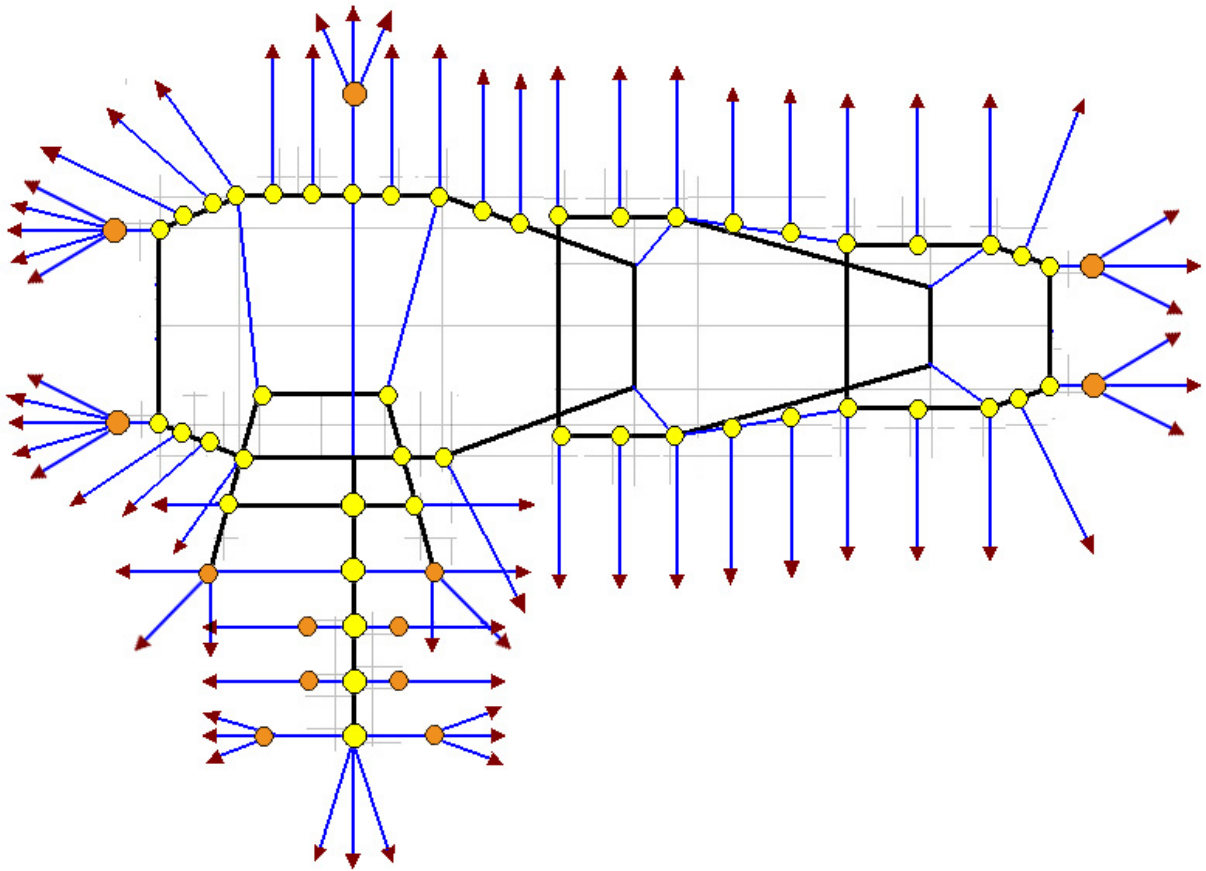


Fig. 4.1.11. Database of rigs property.

(a) Top view



(b) 3D view

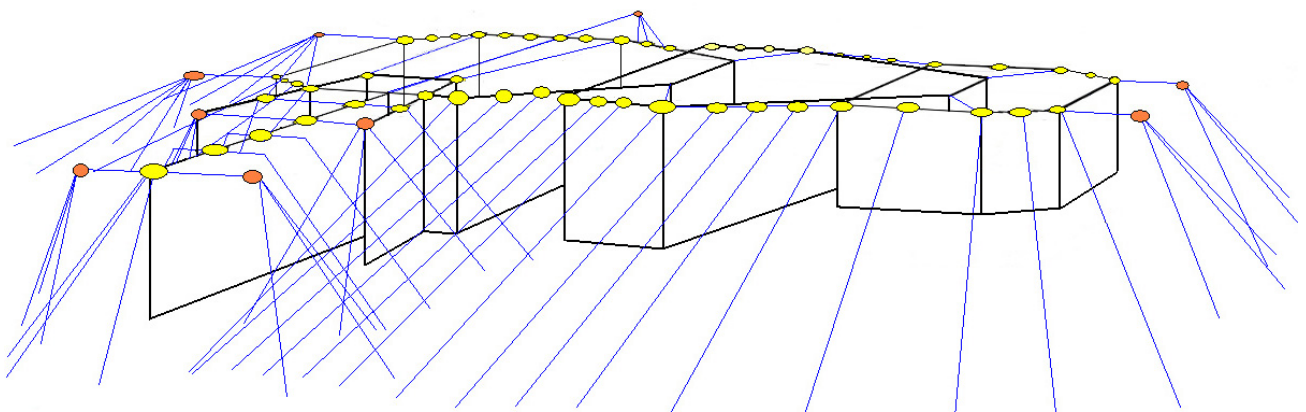


Fig. 4.1.12. Allocation of mooring lines and buoys.

모든 설계 과정이 끝나면, 사용자가 설계한 정치망 어구에 대하여 시뮬레이션 할 수 있으며, 시뮬레이션의 결과를 통해 취약점을 확인하고 이를 보완하는 과정을 통해 보다 효율이 높은 어구를 설계할 수 있다. Fig. 4.1.13.은 시뮬레이션의 초기 화면을 보여주고 있다.

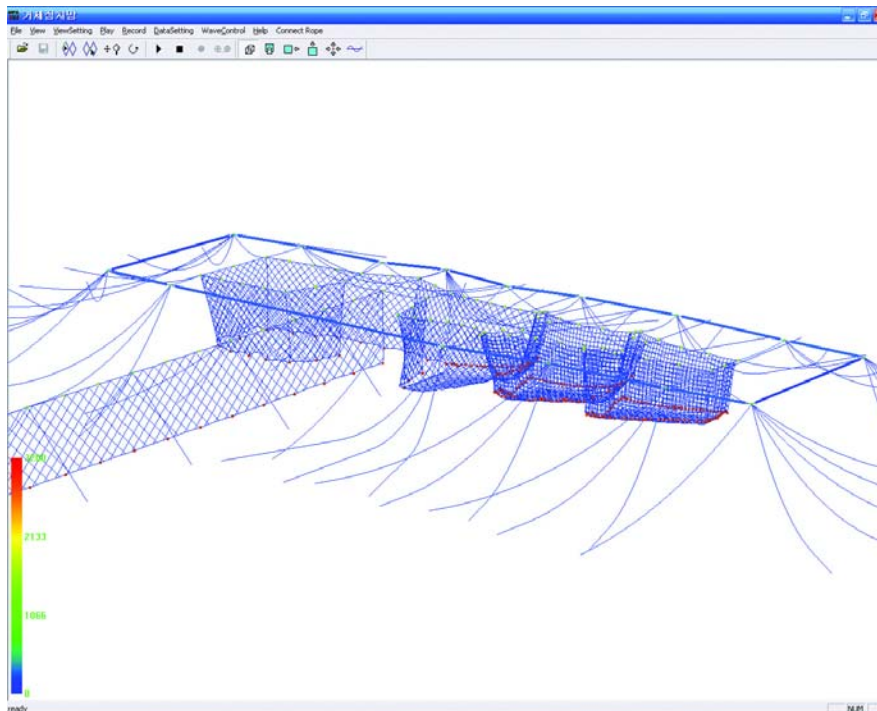


Fig. 4.1.13. The beginning shape of the simulated pound net in the still water.

제 2 절 자동 모델링 프로그램 개발

1. 망지의 근사

정치망어구 시스템의 수치계산방법을 이용한 시뮬레이션이 산업적으로 실용화되기 위해서는 수중 유연구조물의도면이 자유로이 그려지고 그려진 도면으로부터 수치계산에 필요한 정보를 자동으로 획득하며, 획득된 정보를 바탕으로 운동방정식이 기계적으로 생성되어 수치계산되는 세 가지 단계가 원활하고 정확하게 이루어져야한다.

정치망시스템을 시뮬레이션하기 위해서는 어구, 어구를 구성하고 있는 망지, 각종 밧줄인 뜸줄, 밧줄, 명줄 및 부속구인 뜸, 침자 그리고 연결부위를 앞의 수치계산 모델에서 정의한 질점으로 간주하고 어구의 형상에 직접적인 영향을 줄 수 있는 부분을 수치계산에 모두 반영시켜야한다. 조류와 파랑의 영향은 어구거동에 큰 영향을 주므로 이들의 영향이 정확히 평가될 수 있는 계산 알고리즘이 필요하다.

이때, 각종 로프와 망지의 경우 로프의 연결부위와 망지의 매듭뿐만 아니라 로프와 그물밭을 여러 부분으로 나누어 많은 질점을 배치할수록 세밀한 계산이 가능하다. 그러나 정치망어구의 그물에 존재하는 매듭은 약 50만개 이상이므로 전체 망지의 매듭을 모두 질점으로 설정하여 시뮬레이션하는 것은 현재 사용되는 일반적인 PC의 성능을 고려하면 계산속도와 허용 메모리의 문제 때문에 계산 수행에 장시간이 걸리거나, 경우에 따라서는 계산자체가 불가능하기도 하므로 실용성이 거의 없다.

따라서 Fig. 4.2.1.에서 나타낸 바와 같이 계산되는 질점의 수를 줄이기 위해 실물망지에 존재하는 일정한 개수의 망목을 하나의 망목으로 근사하는 방법으로 질점의 개수를 줄여 계산하였다. Fig. 4.2.1.에서처럼 36개의 망목으로 구성된 망지를 그대로 적용하면 질점이 총 49개가 되지만 이를 4개의 망목으로 근사하게 되면 9개로 줄어든다.

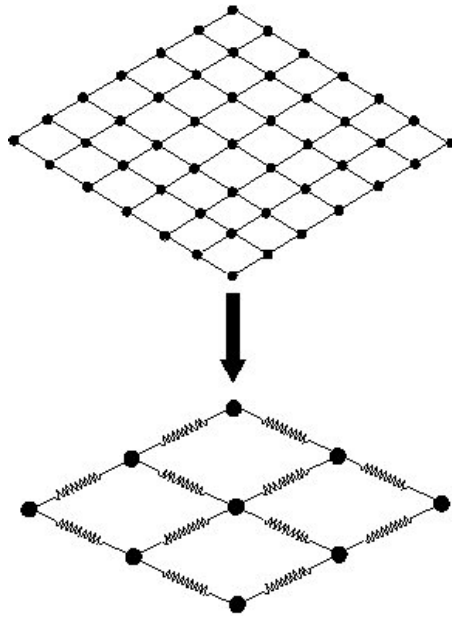


Fig. 4.2.1. Approximation of nets.

2. 운동방정식 자동 생성

Fig. 4.2.2.에서는 이와 같은 방법으로 실물 정치망어구의 형상에 질점을 배치하면 적절한 개수의 질점으로 분할되는 것을 볼 수 있다. 이렇게 질점이 자동으로 생성되어 컴퓨터 화면에 그려지고, 그려진 질점 간의 연결정보와 물리적 파라미터가 자동으로 입력되어 시뮬레이션 프로그램으로 전송된다. 이 과정을 통하여 운동방정식이 자동적으로 생성되고 운동방정식에 포함된 파라미터들로 자동으로 입력된 운동방정식이 만들어진다. 운동방정식의 중심이 되는 질점은 두 가지 방법으로 가능하다.

첫째, 어구의 대부분이 그물이라는 점을 감안하여 본 프로그램에서는 다양한 크기와 종류의 망지를 기본적으로 그릴 수 있도록 하였다. 이때, 망지가 컴퓨터 화면상에 그려지기 위해 필요한 요소인 각 그물코의 위치와 망지의 크기 등은 망목의 크기, 그물실의 굵기, 가로 칸수, 세로 칸수를 선택함으로써 일정한 위치에 망지가 그려지고, 망지가 그려지면 그물의 매듭을 질점으로 간주하고 질점의 위치, 질량, 면적 등 물리적인 정보는 그물코의 개수를 배열로 하는 변수를 자동으로 생성하여 그 변수들에 저장되도록 프로그래밍했다.

두 번째로 질점을 생성하는 방법은 임의의 질점을 원하는 곳에 만들고, 그 질점의 물리적 정보를 프로그램 실행 중에 입력하여 전체 질점간의 배열을 다시 조정해 주는 방법으로서 이러한 방법을 이용하면 그물판과 같이 일률적인 질점 생성 방법을 탈피하여 임의의 원하는 구조물을 마음대로 만들 수 있다. 이때 생성된 각 질점들은 삭제, 질점간의 연결정보 수정 등의 방법을 활용하여 편집이 가능하므로 정치망어구를 설계하는데 효율적이다.

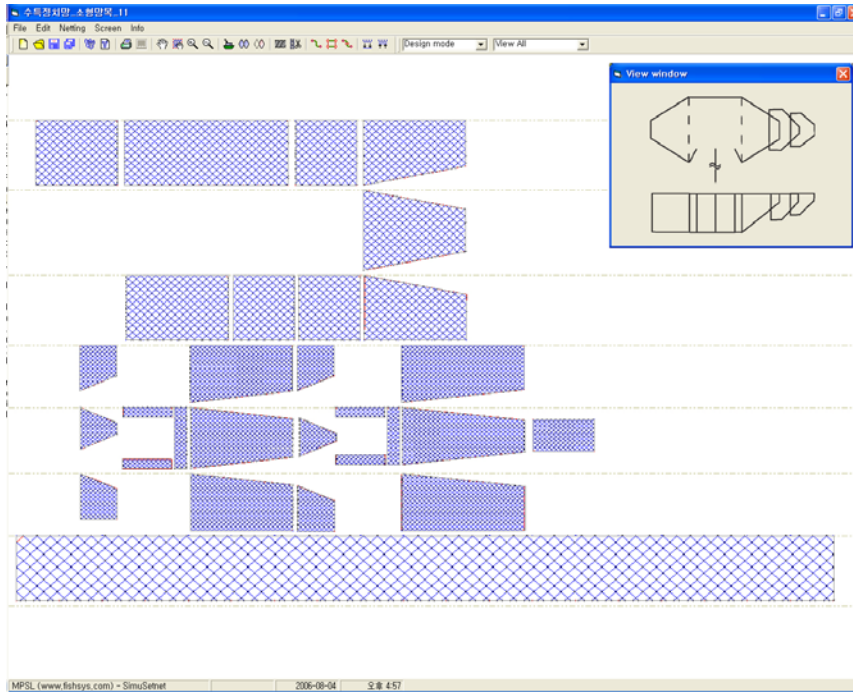


Fig. 4.2.2. Panels with approximated nets.

3. 조류와 파장의 계산

운동방정식에 포함된 외력 중에서 저항과 양력의 계산에는 합력속도벡터가 중요한 파라미터로 작용한다. 여기서 합속도벡터도 질점자체의 속도뿐만 아니라 해양환경에 의해서 야기되는 조류와 파랑에 의한 속도벡터도 고려해주어야 한다. 본 연구에서는 이 속도벡터의 계산을 다음 식으로 하였다.

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_m - \mathbf{V}_c + \mathbf{V}_w \quad (21)$$

여기서 \mathbf{V}_m 은 질점의 속도벡터, \mathbf{V}_c 는 조류의 속도벡터, \mathbf{V}_w 는 파랑에 의해서 야기되는 물 입자의 속도벡터이다.

제 3 절 3차원 그래픽 해석 시스템 개발

개발된 정치망 어구 설계도면 작성용 프로그램을 이용하여 정치망 설계도를 완성하고 설계된 정치망을 자동 모델링 및 수치계산 프로그램을 통해 시뮬레이션 할 수 있다. 3차원 그래픽 해석 시스템은 수치로 표현된 정치망의 시뮬레이션 내용 및 결과를 3차원 형태로 가시화시켜주는 프로그램으로써 수중에서의 정치망 어구의 거동을 현실에서 보는 것과 같은 모양으로 표현해서 정치망에 대한 조류 및 파랑 등에 대한 응답을 시간별로 확인할 수 있는 시스템이다. 본 시스템 개발은 Visual Studio 6.0 MFC(Microsoft foundation Class) 프로그래밍 개발 환경을 기반으로 하였고 여기에 실리콘 그래픽스사가 개발한 3차원 그래픽 라이브러리인 OpenGL을 이식하여 사용하였다.

Fig. 4.3.1.은 3차원 그래픽 해석 시스템의 구조를 블록 다이어그램으로 표현한 것이다. 3차원 그래픽 해석 시스템은 크게 수치 계산 모듈과 렌더링 모듈, 시뮬레이션 데이터 분석 모듈로 구성된다. 수치 계산 모듈에서는 정치망 구성 요소들을 질량 스프링 모델 및 운동 방정식으로 기술하고 이를 정해진 수치해법을 통해 자동으로 계산한다. 렌더링 모듈은 정치망을 구성하는 망지와 부속구들을 점, 선, 면 등의 기하 프리미티브들을 이용해서 컴퓨터 가상공간에 입체적으로 표현하고 모니터 화면으로 출력하는 역할을 한다.

정치망을 구성하는 망지를 표현하기 위해 망지매듭(질점)을 기하학상의 정점(vertex)으로 간주하고 각 정점들을 수치 계산 결과에 따라 3차원 공간상에 배치하였다. 뜬과 침자 또한 계산 결과에 따른 좌표 위치에 배치하고 구(sphere)의 형태로 표현하였다. 이때 망지와 각 부속구들의 위치를 나타내는 각 정점들을 직선(발줄)으로 연결하면 입체적 형태를 가지는 정치망 모델이 완성된다(Fig. 4.3.2.). 시뮬레이션 데이터 분석 모듈은 정치망 어구가 시뮬레이션 되는 동안의 상태 정보들을 계산하여 정량적으로 나타낸다. 실시간으로 표현되는 정치망의 3차원 형상을 분석 통해 유속 및 파랑의 크기에 따른 정치망 어구의 형상을 파악할 수 있으며 망지와 명줄에 작용하는 장력의 변화를 모니터링 할 수 있다(Fig. 4.3.3.).

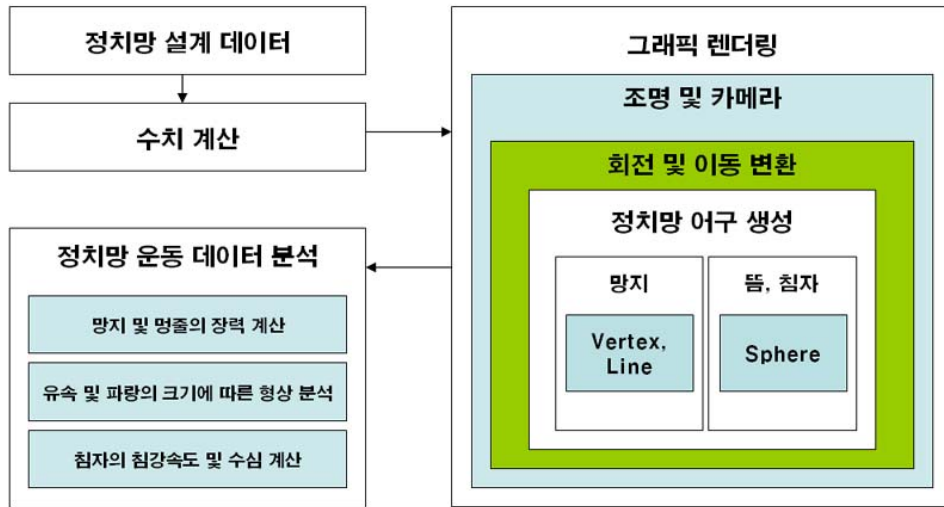


Fig. 4.3.1. Processing structure of 3-dimensional graphic analysis system.

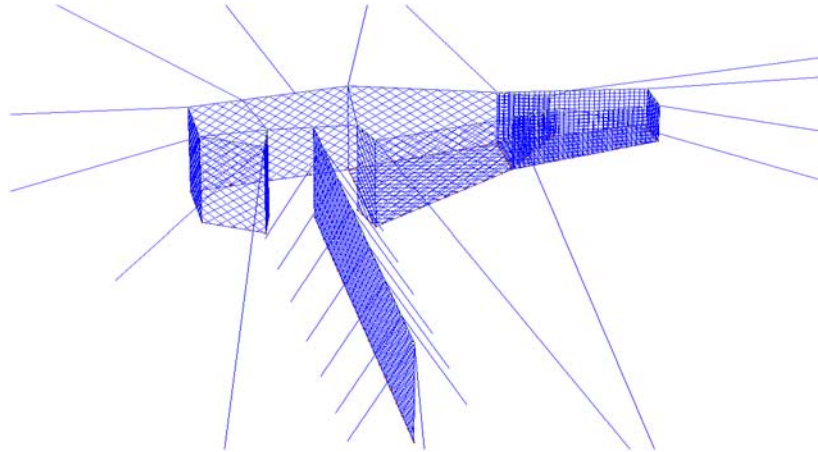


Fig. 4.3.2. A pound net described with 3-dimensional graphic.

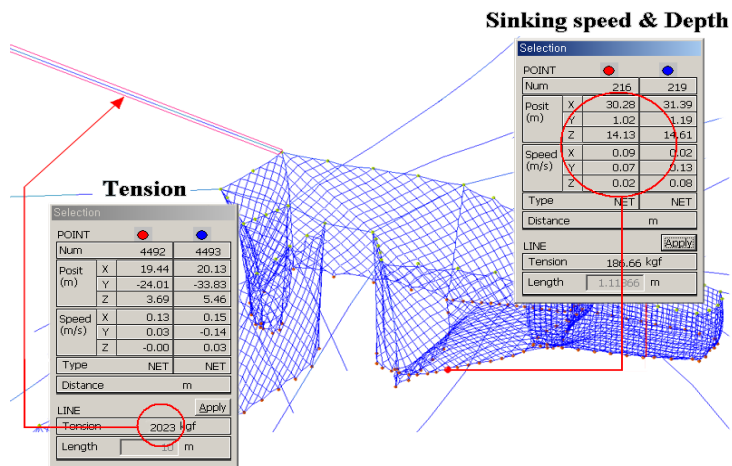


Fig. 4.3.3. Monitoring of tension on the mooring line, moving velocity and depth of sinkers.

제 4 절 정치망 어구 설계 및 평가

1. 실물 정치망 설계의 예

어구조사 및 어장환경이 정밀 계측된 거제도 능포의 정치망에 대해서 실물어구를 본 연구에서 개발된 설계도구로 설계하였다.

Fig. 4.4.1.은 실물어구의 설계도와 컴퓨터로 설계된 설계도의 각 판넬 번호를 나타내고 있으며, Table 4.4.1.은 각 판넬의 세부 속성을 표로 나타내었다.

Fig. 4.4.2.는 설계도면을 나타내고 있고 명줄과 뜰이 배치된 형상을 Fig. 4.4.3.에 나타내었다.

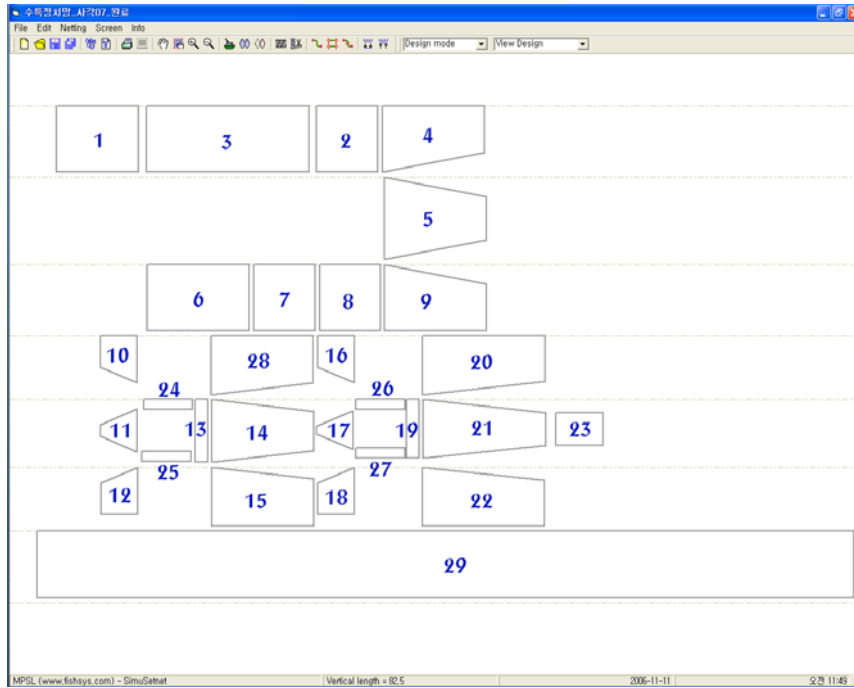
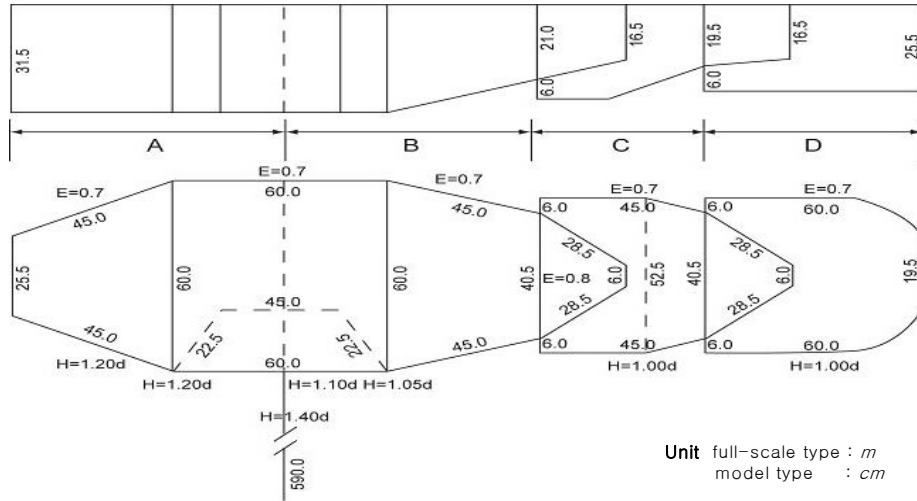


Fig. 4.4.1. Drawing of the developed pond net.

Table. 4.4.1.

NO.	L.O.B(m)	H-ratio(%)	Type	Material	Stiffness(kgf)	Gravity
1	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
2	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
3	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
4	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
5	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
6	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
7	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
8	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
9	0.017	70	knotless	nylon	500	1.14
10	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
11	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
12	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
13	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
14	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
15	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
16	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
17	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
18	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
19	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
20	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
21	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
22	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
23	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
24	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
25	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
26	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
27	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
28	0.006	70	knotless	nylon	500	1.14
29	0.075	70	knotless	nylon	500	1.14

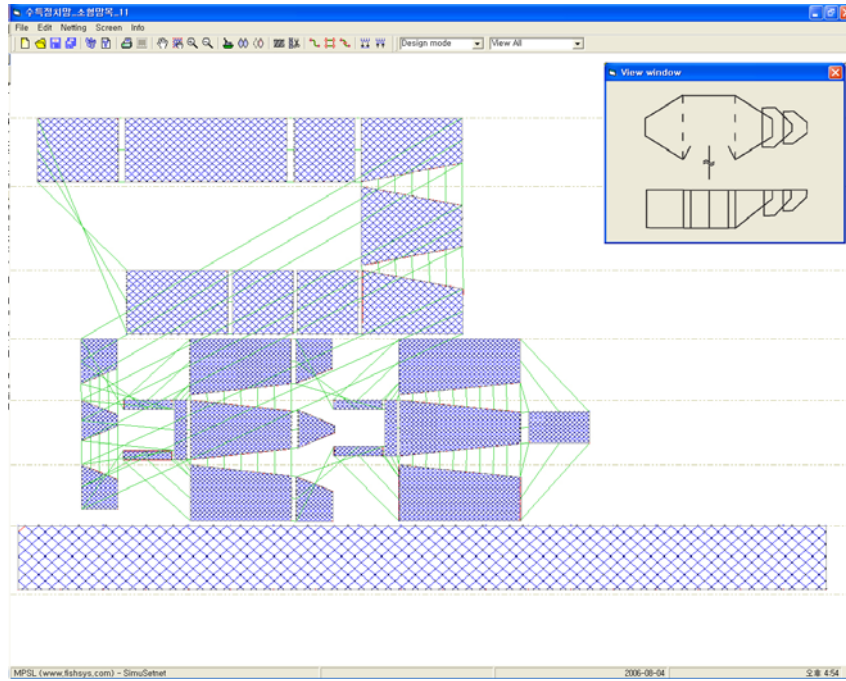


Fig. 4.4.2. A drawing plan of the pond net by design program.

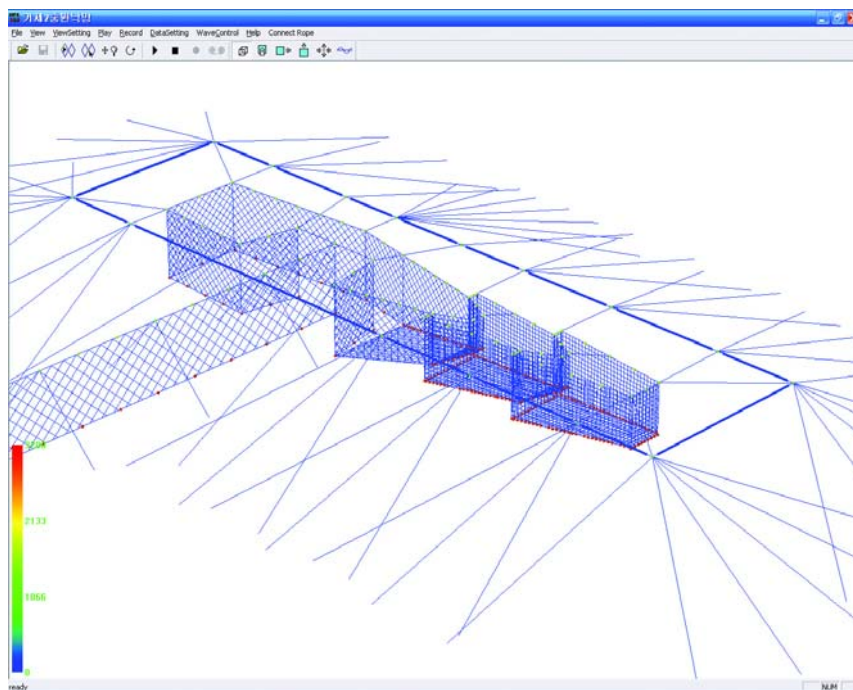


Fig. 4.4.3. The shape of the pond net with buoy and mooring line.

제 5 장 시뮬레이션

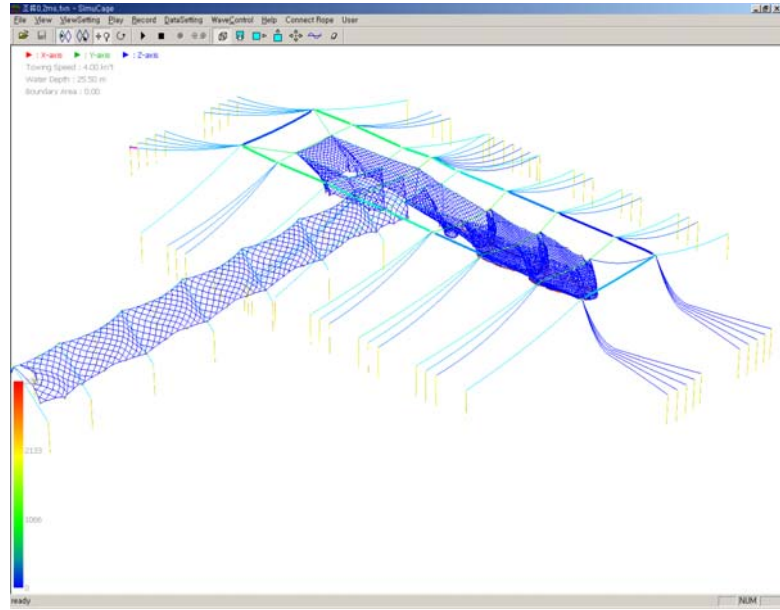
본 장에서는 조류의 영향을 받는 정치망의 동적 거동을 시뮬레이션 하고 그 결과를 기술하였다. 그물의 형상은 유속의 흐름의 세기에 따라 의해 상당한 각도까지 변형되었고, 상단 부분의 멩줄에 큰 장력이 발생하였다. 그물의 변형 정도와 멩줄의 장력은 유속의 크기와 속구의 재료에 따라 다르게 나타났다. 특히 정치망은 그물코가 작고 구조가 복잡하기 때문에 그 변형 정도가 다른 그물보다는 크게 나타났고, 유속 $0.6m/s$ 이상에서는 조업이 불가능할 정도로 어구가 변형되었다.

제 1 절 유속에 대한 응답

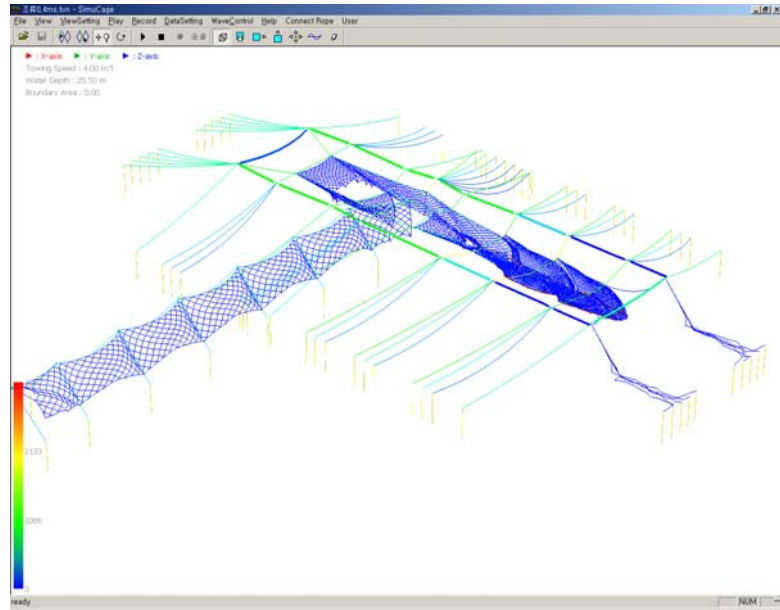
1. 운동장 방향의 조류

여기서는 운동장 방향에서 원통 쪽으로 흐르는 조류에 의해 영향을 받는 정치망의 동적 거동을 시뮬레이션 하였다. Fig. 5.1.1.~Fig. 5.1.3.은 유속이 $0.2m/s$, $0.4m/s$, $0.6m/s$ 일 때의 정치망 거동을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 정치망의 변형 정도를 직관적으로 판단할 수 있는 Fig. 5.1.4.의 측면 형상을 보면 운동장 그물의 경사각이 $0.2m/s$ 일 때 51° , $0.4m/s$ 일 때 75° , $0.6m/s$ 일 때 82° 까지 변형되었다. 이때의 경사각을 모형실험에서 얻어진 경사각 및 현장 실험에서 계측된 경사각과 비교하여도 $\pm 10\%$ 이내의 오차를 나타내었다. 이 때 그물의 상류 멩줄에 걸리는 장력과 그물이 날리는 정도를 측정하여 Fig 5.1.5.에 나타냈다. 장력은 모형실험에서는 계측되었으나 모형의 스케일(축척) 효과 때문에 계산된 장력과 직접적인 비교가 공학적으로 큰 의미가 없어서 비교하지 않았고, 현장에서의 장력 계측을 시도하였으나 사용된 장력계의 성능 부족으로 인하여 일정한 유속이 작용하는 상태에서 장력값을 계측할 수 없었다. 따라서 유속이 거의 없는 계류시의 장력값만을 계측하였으며 이 자료를 텐션 계류(Tension mooring)의 초기 조건으로 두고 수치계산에 활용하였다. 유속에 따른 장력은 속도의 제곱에 비례하는 경향을 보였다.

(a)



(b)



(c)

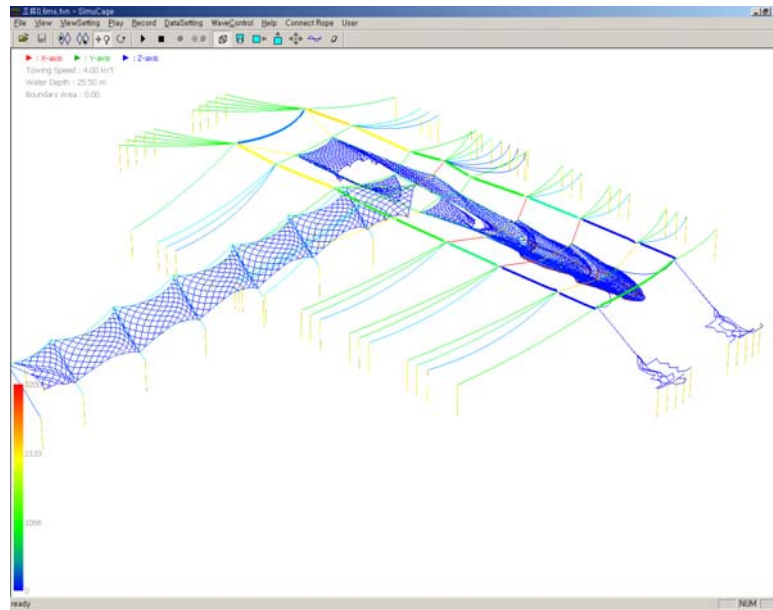
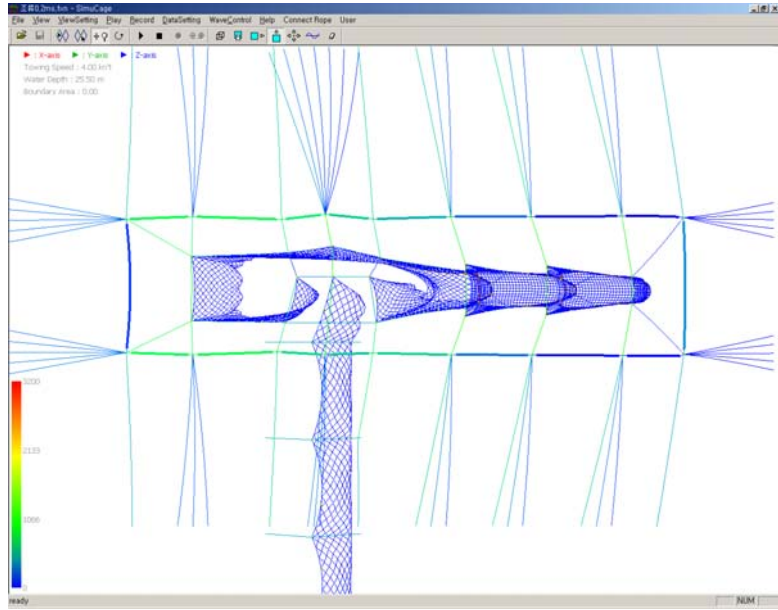
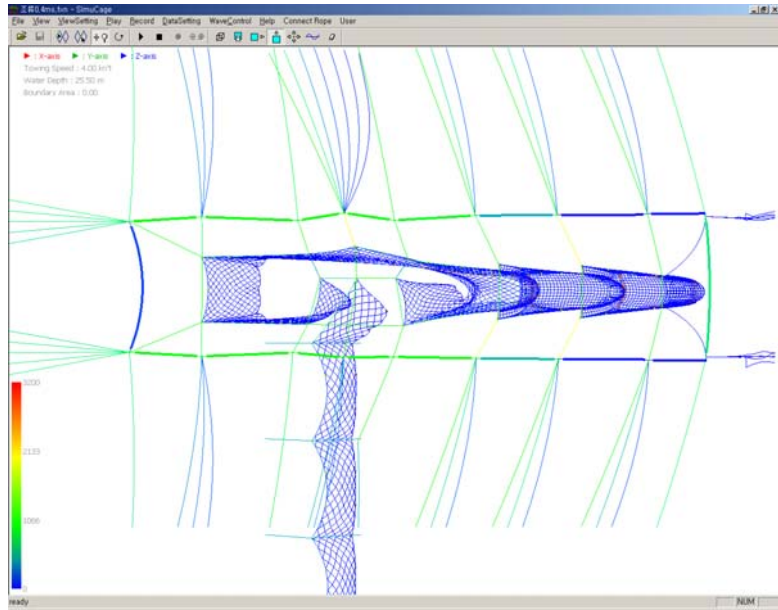


Fig. 5.1.1. 3-dimensional shape deformation in the upperward current of
(a) $0.2m/s$ (b) $0.4m/s$ (c) $0.6m/s$.

(a)



(b)



(c)

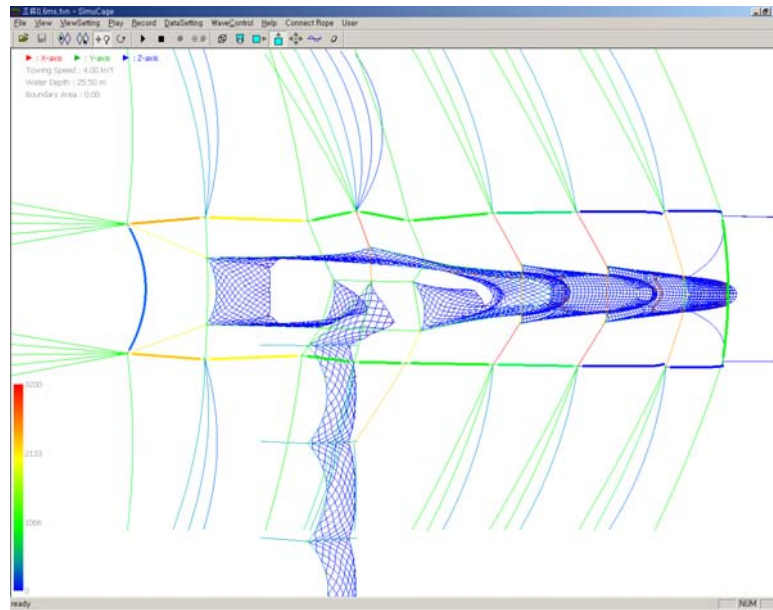
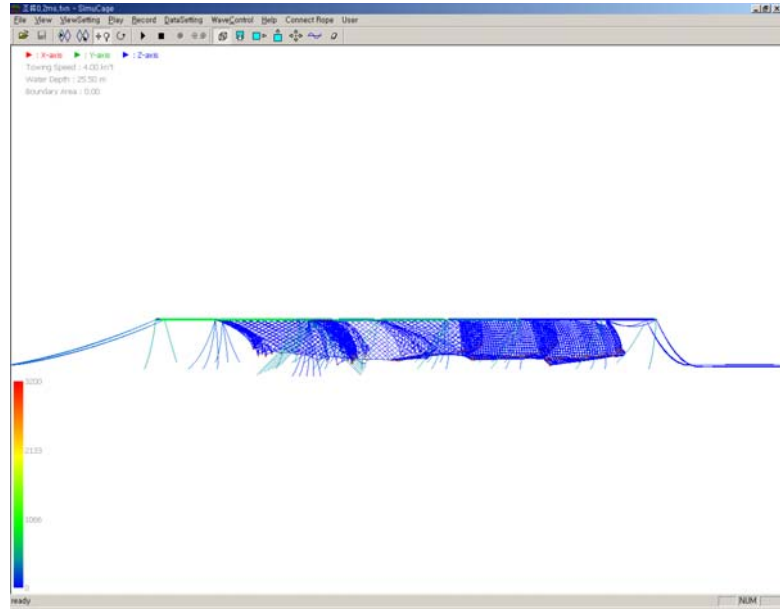
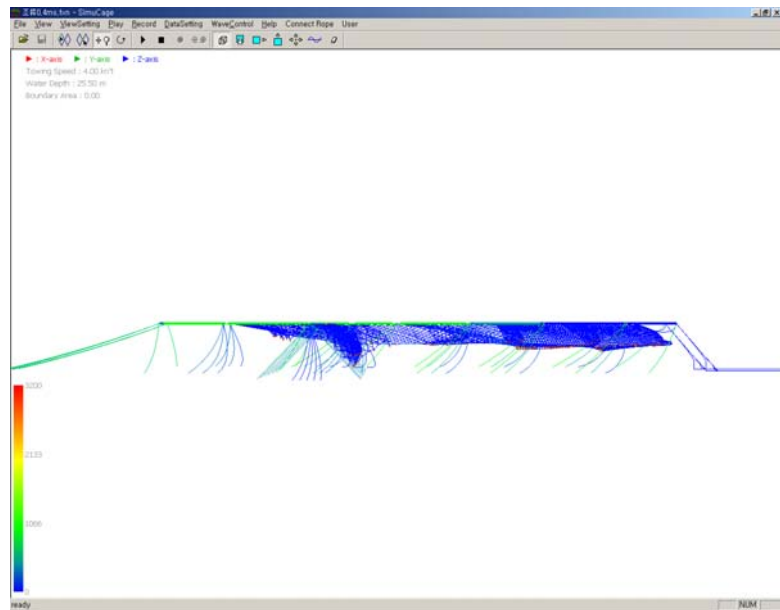


Fig. 5.1.2. Top view on the deformation of the pound net for the upward current of
(a) 0.2m/s (b) 0.4m/s (c) 0.6m/s .

(a)



(b)



(c)

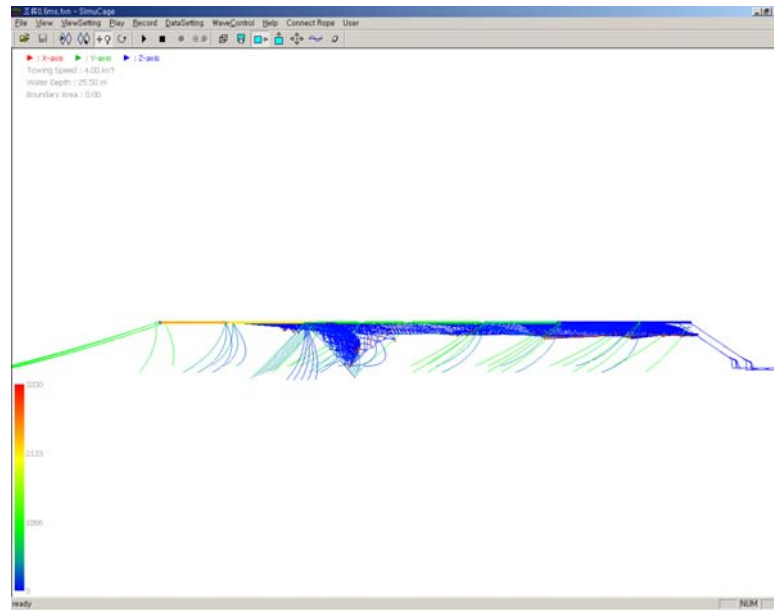


Fig. 5.1.3. Side view on the deformation of the pound net for the upward current of
(a) 0.2m/s (b) 0.4m/s (c) 0.6m/s .

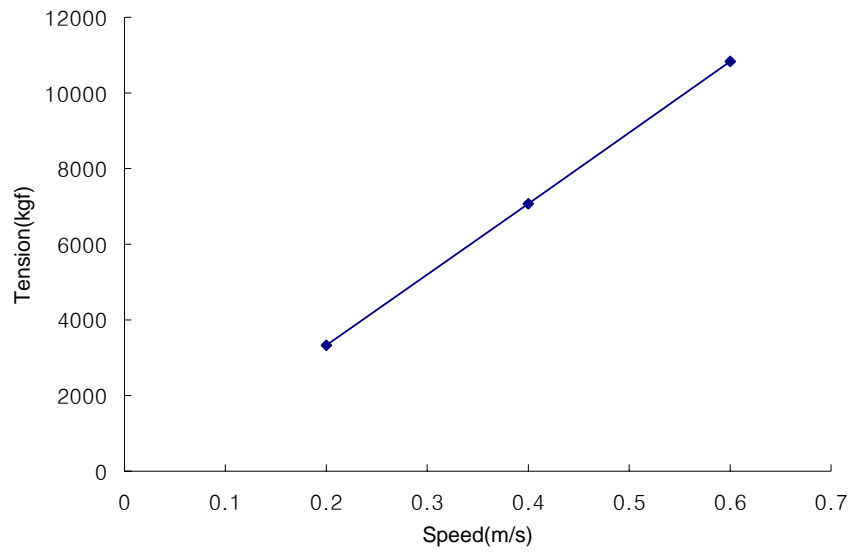


Fig. 5.1.4. Tension of mooring lines on upperward according to the current in the upperward flow.

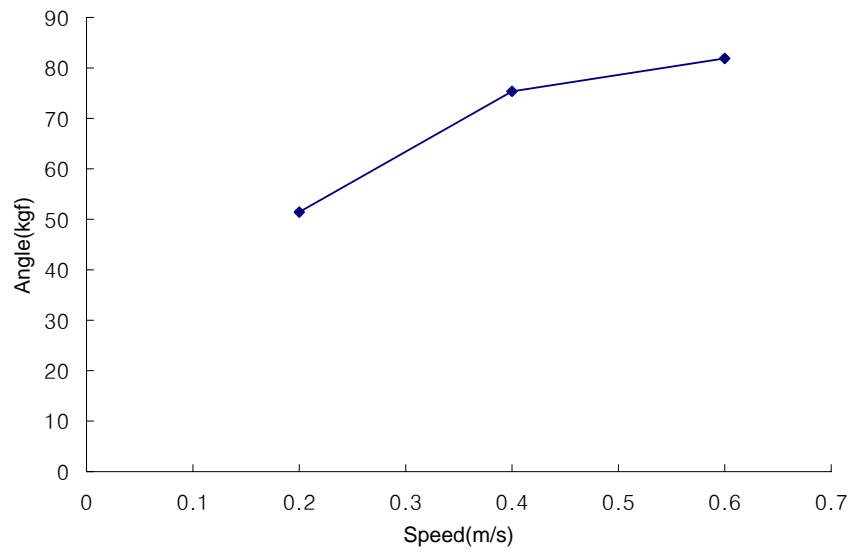


Fig. 5.1.5. Change of deformed angle of ground net according to the current in the upperward flow.

2. 원통 방향의 조류

여기서는 원통 방향에서 오는 조류에 대한 정치망의 동적 거동을 시뮬레이션 하였다. Fig. 5.1.6.은 $0.2m/s$, $0.4m/s$, $0.6m/s$ 의 속도를 가진 조류에 대한 정치망의 수중 거동에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 이때 원통 부근에 계류된 멩줄의 장력을 측정하였고 원통의 날림 정도를 측정하여 각각 Fig. 5.1.7. ~ Fig. 5.1.9.에 나타냈다. Fig. 5.1.10.의 측면 형상을 보면 원통 그물의 경사각이 $0.2m/s$ 일 때 53° , $0.4m/s$ 일 때 75° , $0.6m/s$ 일 때 82° 까지 변형되었다. 이때의 경사각 역시 모형실험에서 얻어진 값 및 현장 실험에서 계측된 값과의 비교에서 $\pm 10\%$ 이내의 오차를 나타내었다.

(c)

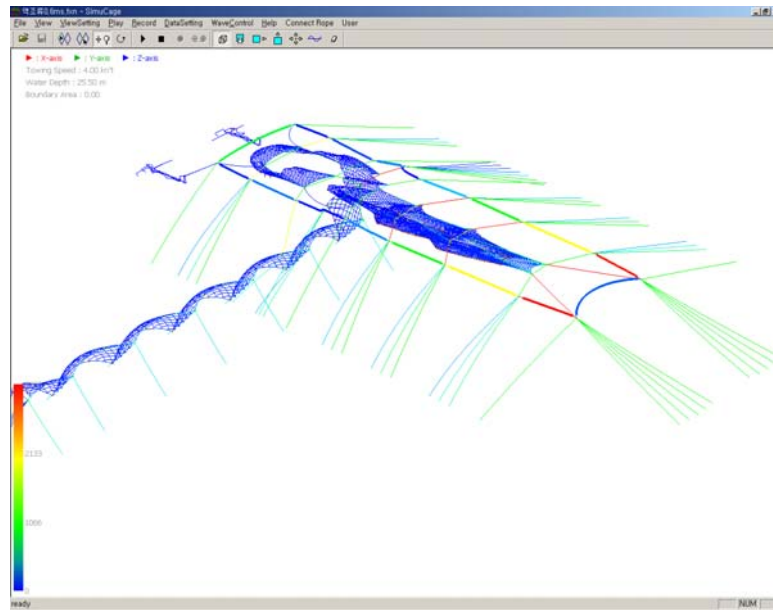


Fig. 5.1.6. 3-dimensional shape deformation in the downward current of
(a) 0.2m/s (b) 0.4m/s (c) 0.6m/s .

(c)

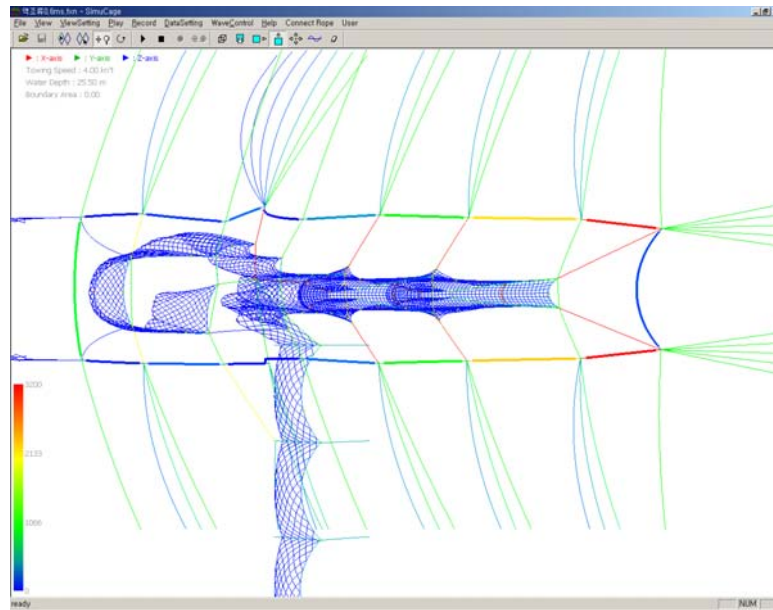


Fig. 5.1.7. Top view on the deformation of the pound net for the downward current of
(a) 0.2m/s (b) 0.4m/s (c) 0.6m/s .

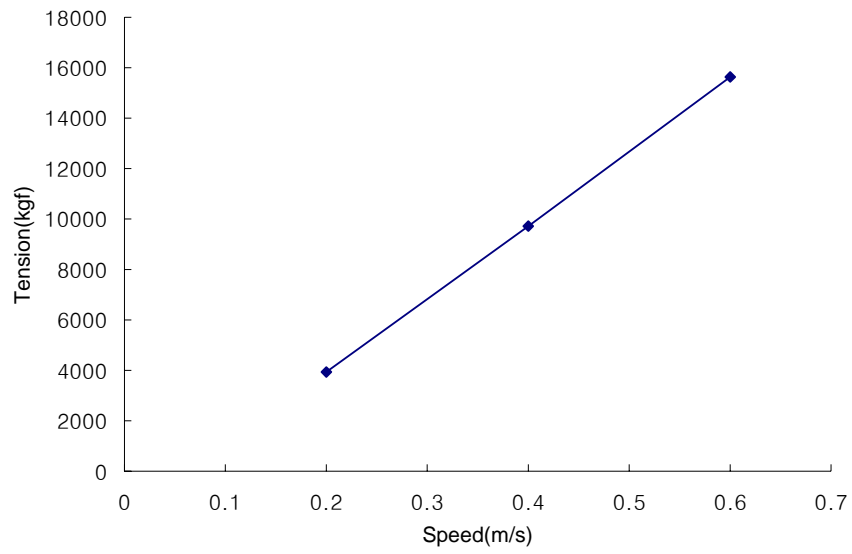


Fig. 5.1.9. Tension of mooring lines on downward according to the current in the downward flow.

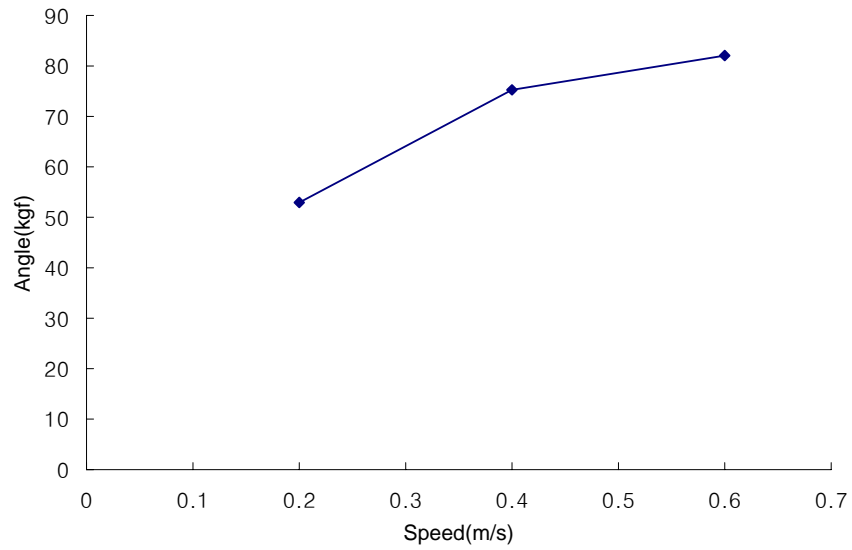


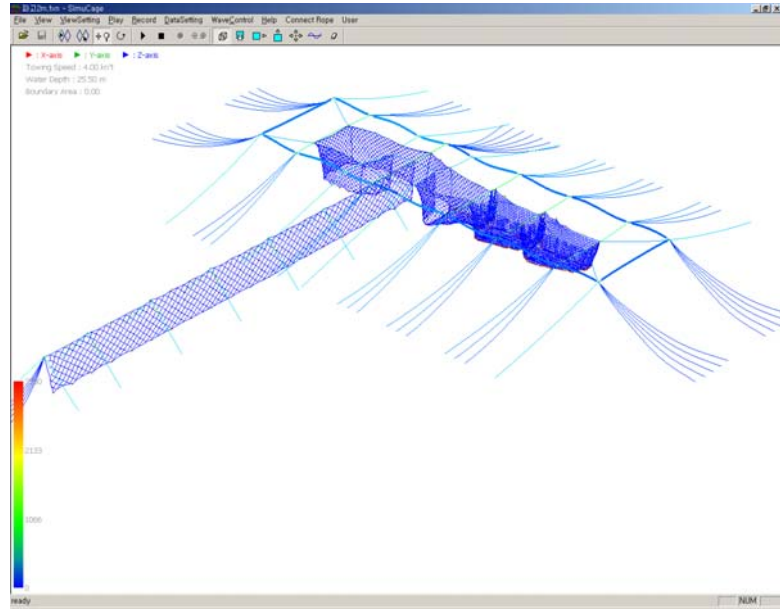
Fig. 5.1.10. Change of deformed angle of ground net according to the current in the downward flow.

제 2 절 파랑에 대한 응답

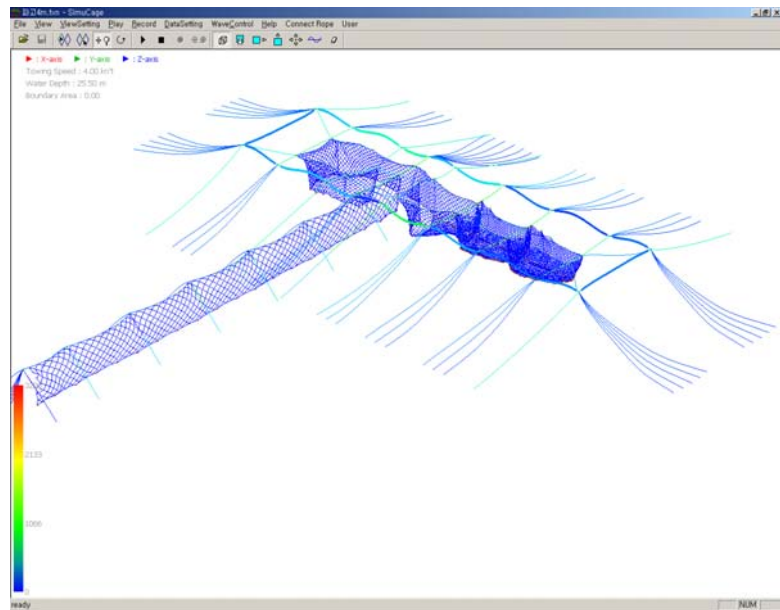
1. 운동장 방향의 파랑

정치망의 파랑에 대한 움직임을 살펴보기 위해 Airy의 wave 이론을 토대로 파랑의 운동을 기술하고 이를 시뮬레이션에 적용하였다. 파랑의 흐름은 운동장 방향에서 원통방향으로 이동하며 파장 $50m$, 주기 $10초$ 인 조건에서 파고가 각각 $2m$, $4m$, $6m$ 일 때의 정치망 거동을 시뮬레이션 하였다(Fig. 5.2.1. ~ Fig. 5.2.3.). 이때 명줄 상단 부분에 작용에 작용하는 장력을 측정하여 Fig. 5.2.4.에 나타냈다. 시뮬레이션 결과 파고가 커짐에 따라 상류측 명줄의 장력은 증가하였고, 같은 파고에서는 주기가 증가할수록 장력은 감소하는 경향을 나타내었다.

(a)



(b)



(c)

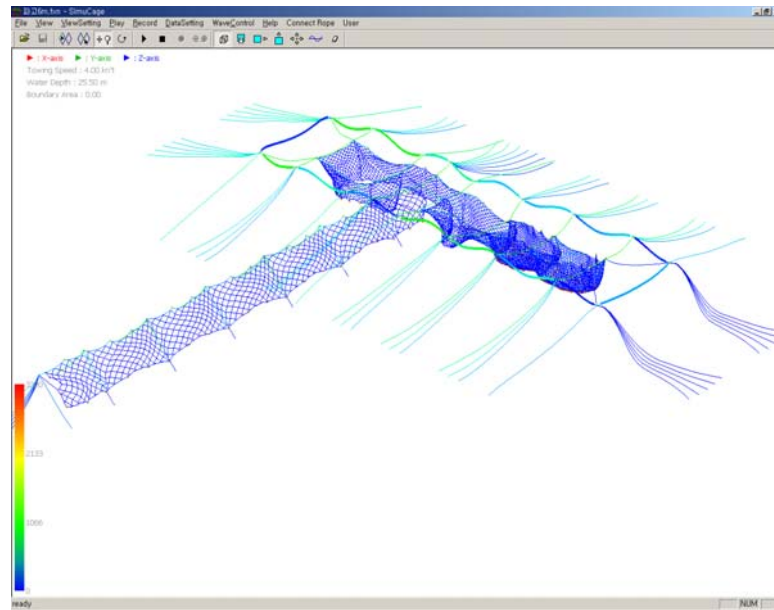
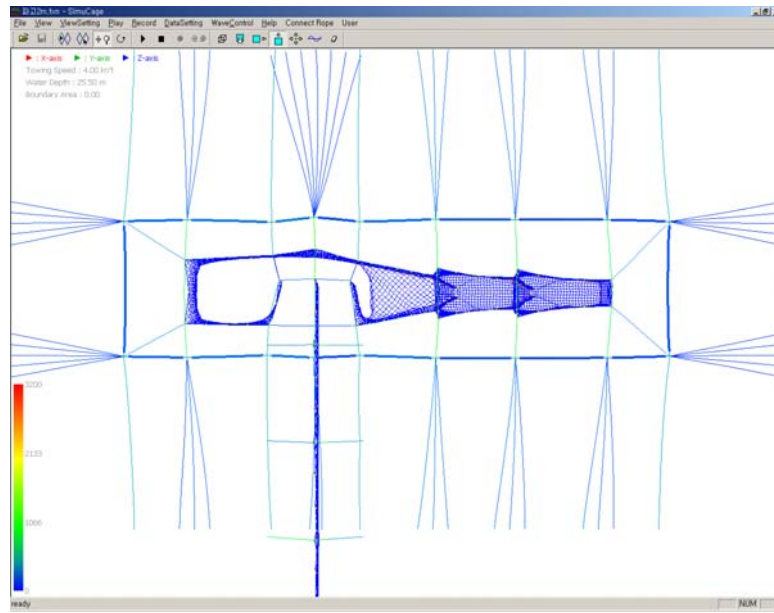
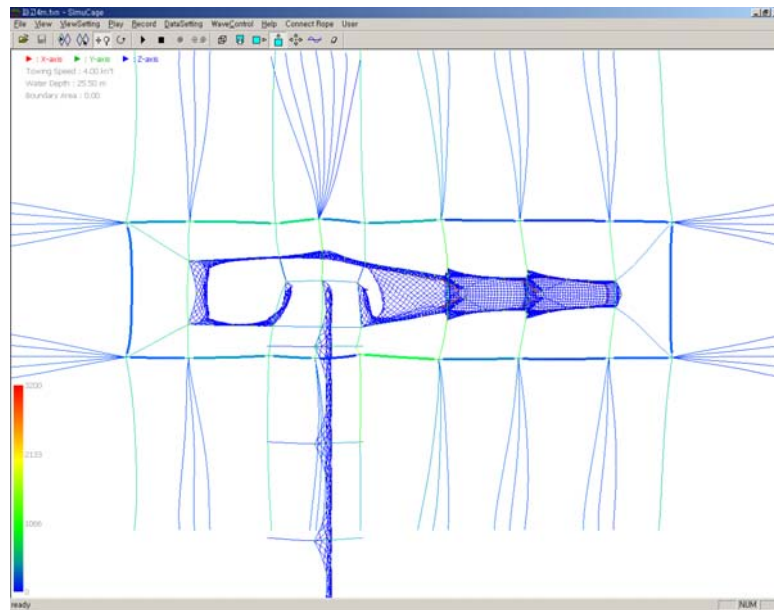


Fig. 5.2.1. 3-dimensional shape deformation in the upward wave height of
(a) 2m (b) 4m (c) 6m.

(a)



(b)



(c)

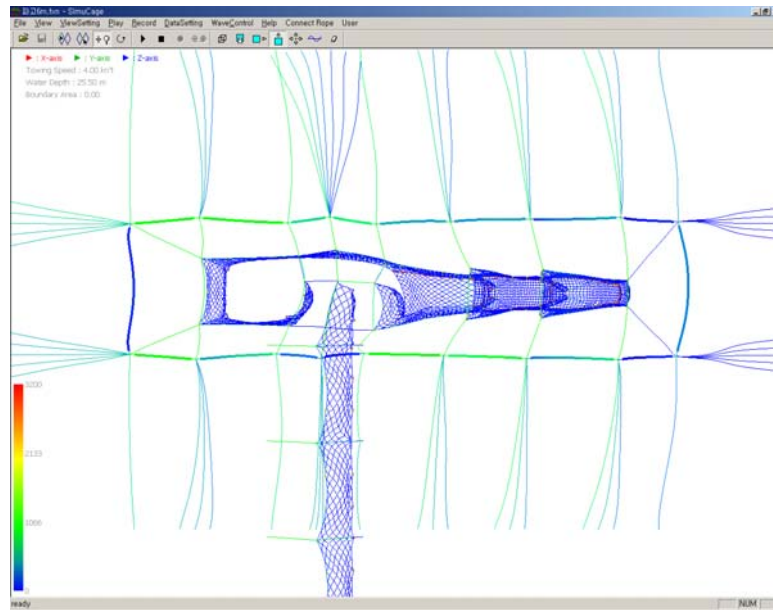
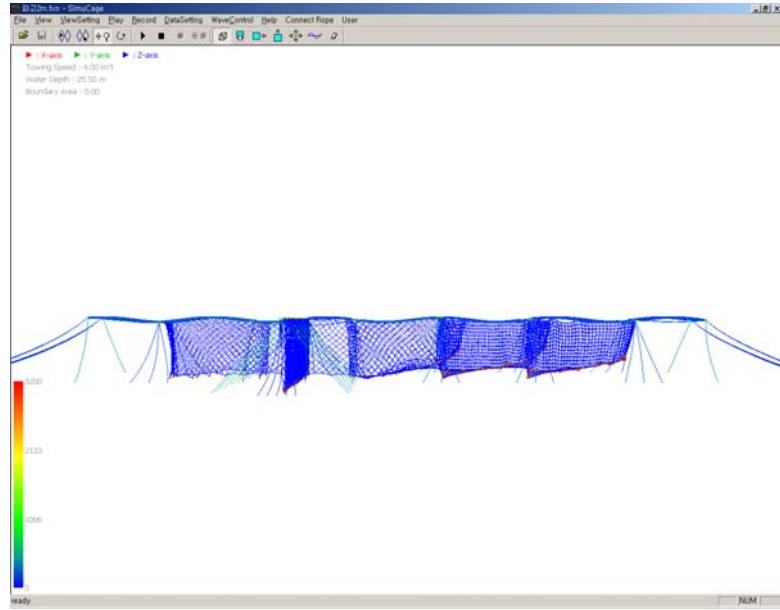


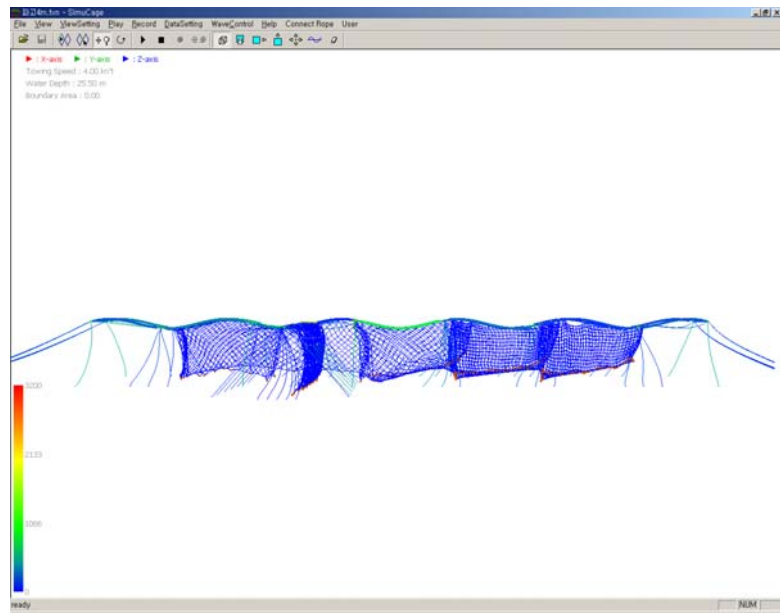
Fig. 5.2.2. Top view on the deformation of the pound net for the upward wave height of

(a) $2m$ (b) $4m$ (c) $6m$.

(a)



(b)



(c)

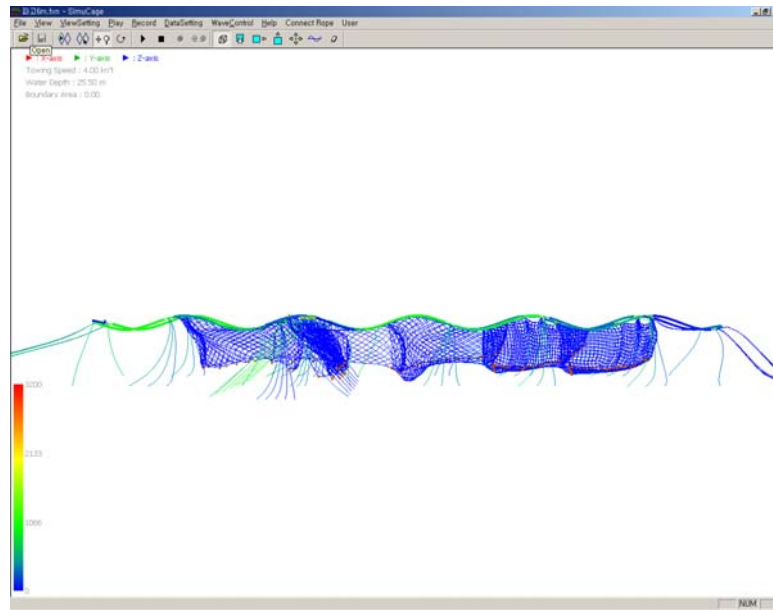


Fig. 5.2.3. Side view on the deformation of the pound net for the upward wave height of

(a) $2m$ (b) $4m$ (c) $6m$.

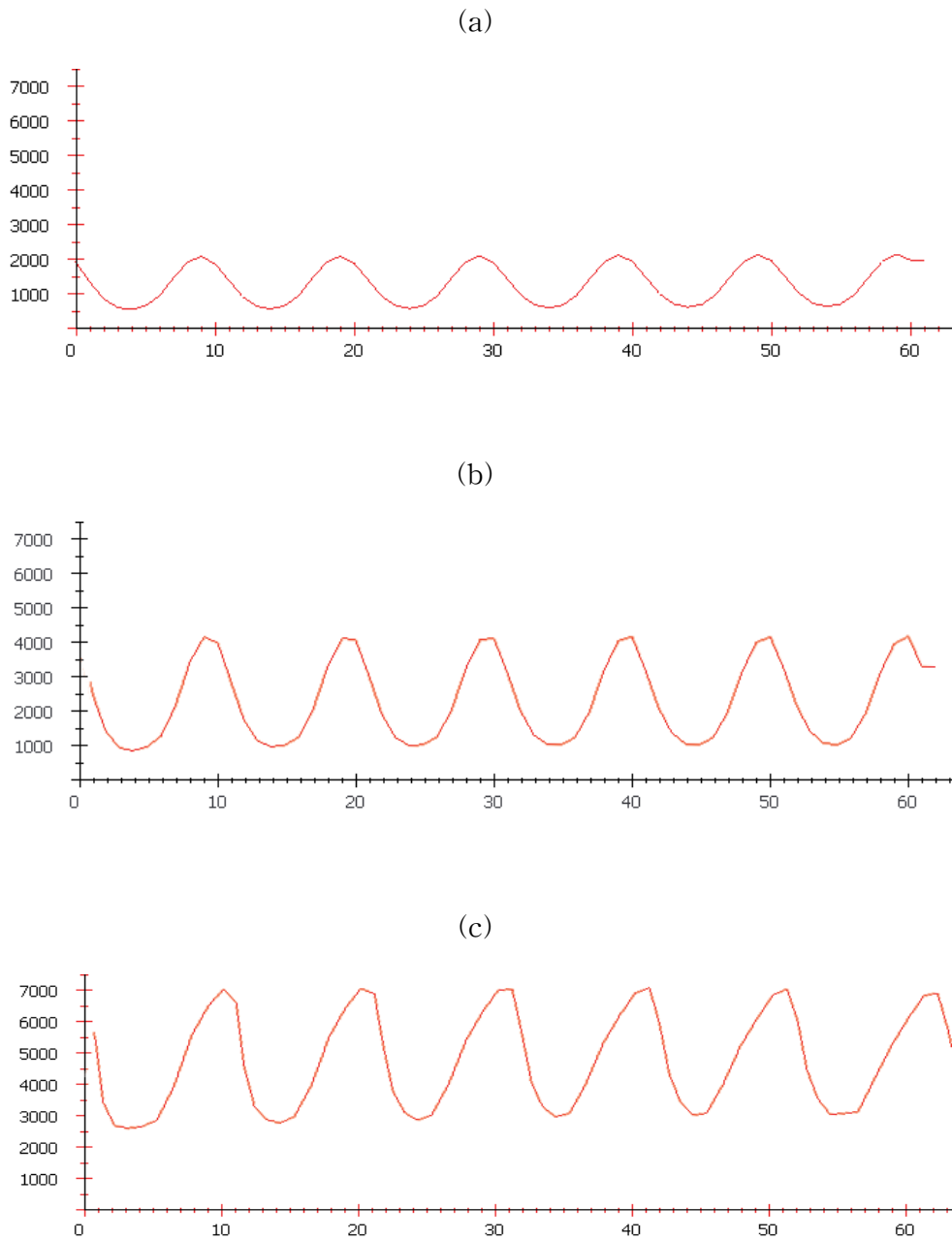


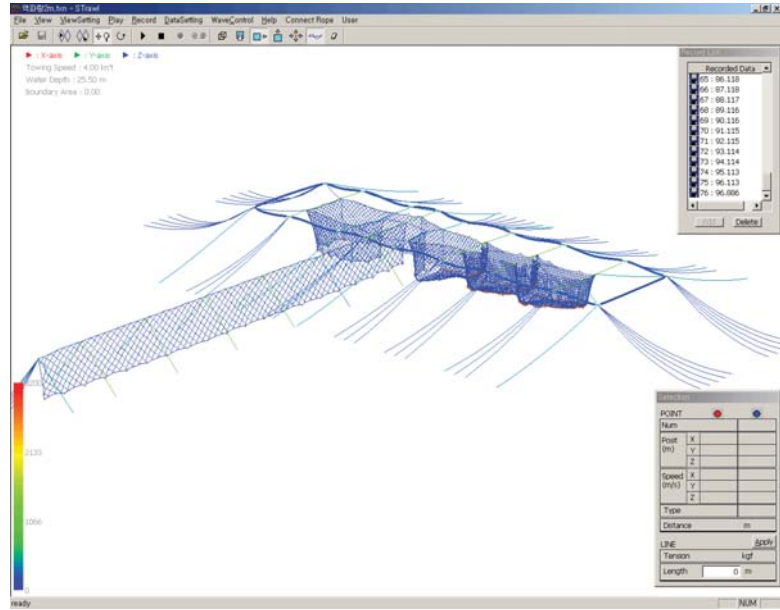
Fig. 5.2.4. Tension of mooring lines on upperward according to the wave height in the upperward flow.

(a) 2m (b) 4m (c) 6m.

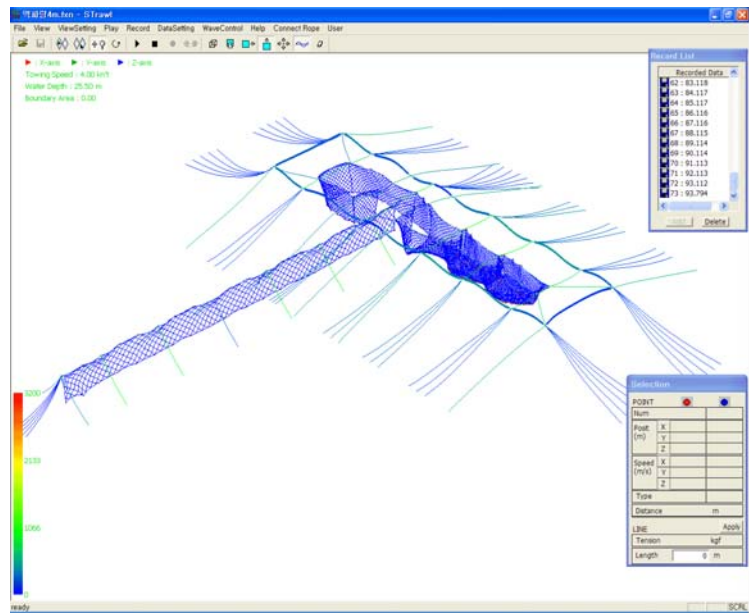
2. 원통 방향의 파랑

원통에서 운동장 방향으로 파랑이 흐를 경우에 대해 시뮬레이션 하였다. 이때의 파랑 조건 역시 파장 $50m$, 주기 10 초로 하였고 파고를 $2m$, $4m$, $6m$ 로 변화 시켜가며 시뮬레이션 하였다. 원통 방향의 파랑에 대해서도 파고 또는 주기에 대해서는 앞의 시뮬레이션과 유사한 결과를 나타내었다.

(a)



(b)



(c)

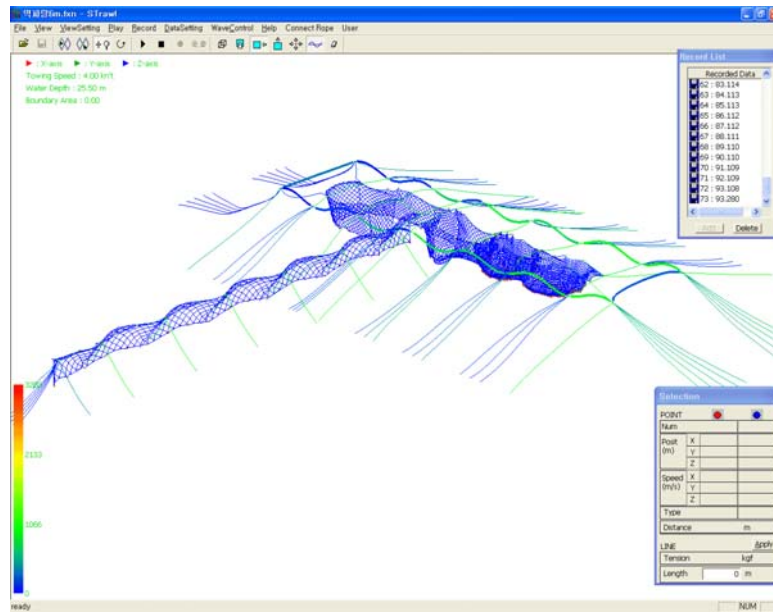
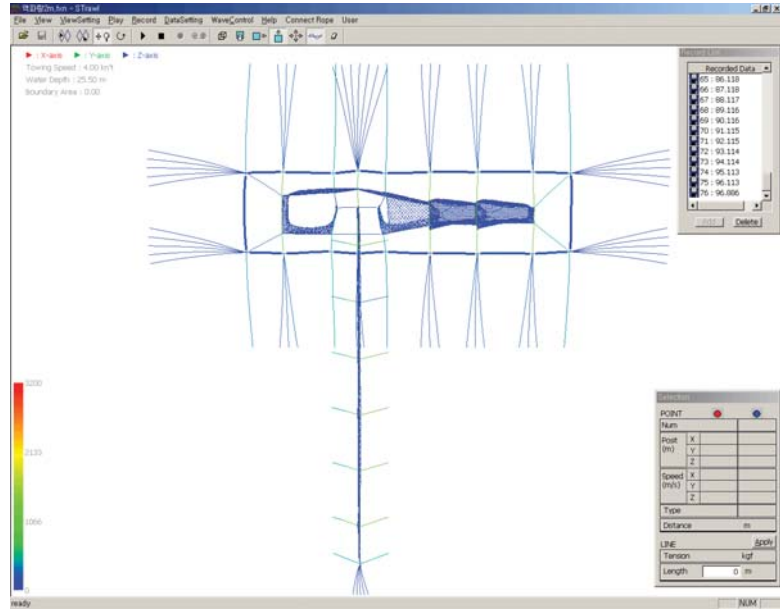
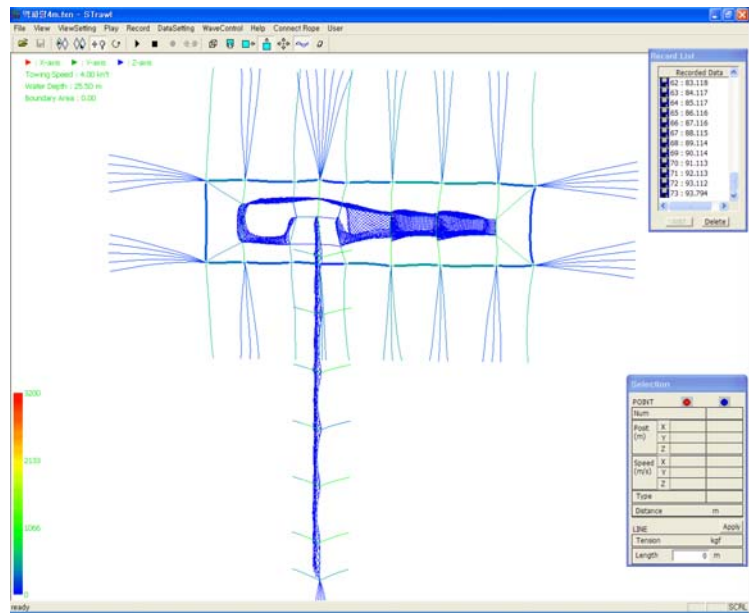


Fig. 5.2.5. 3-dimensional shape deformation in the downward wave height of
(a) 2m (b) 4m (c) 6m.

(a)



(b)



(c)

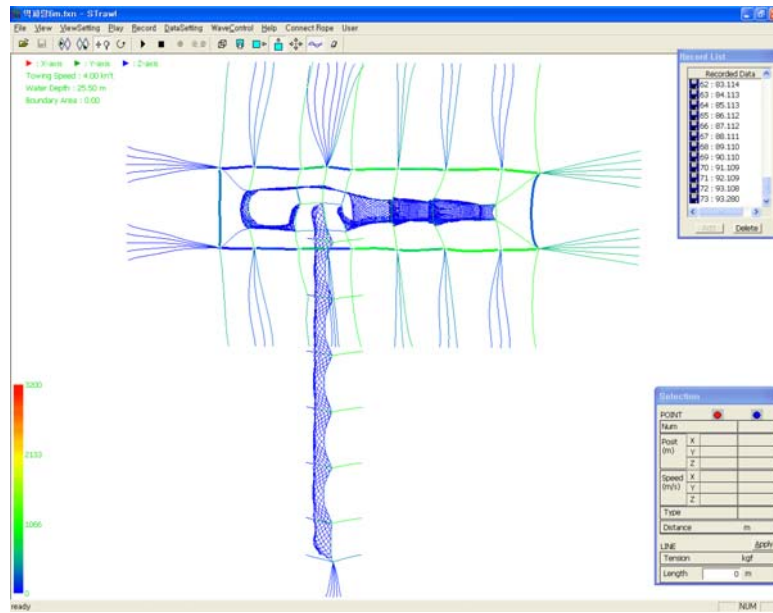
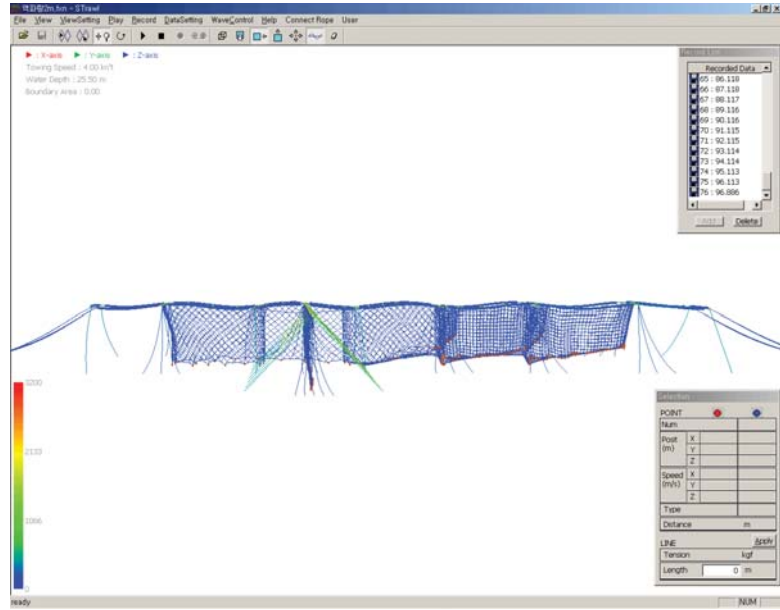
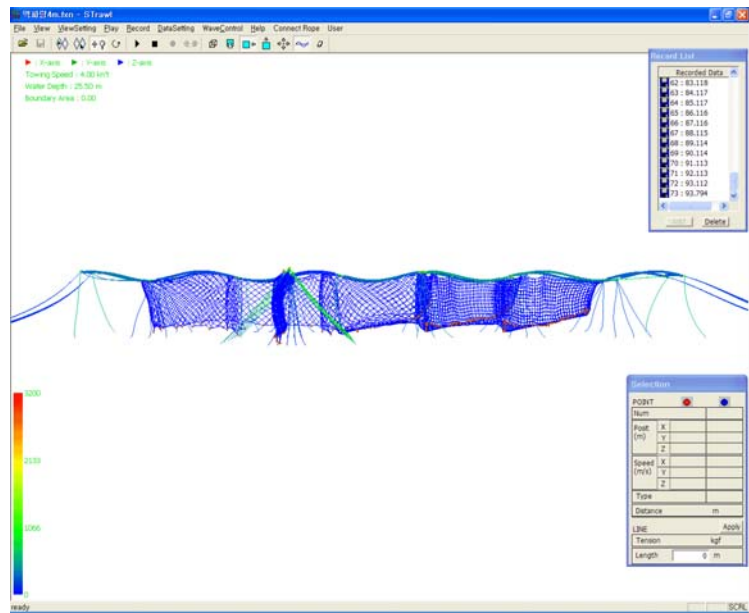


Fig. 5.2.6. Top view on the deformation of the pound net for the downward wave height of
(a) $2m$ (b) $4m$ (c) $6m$.

(a)



(b)



(c)

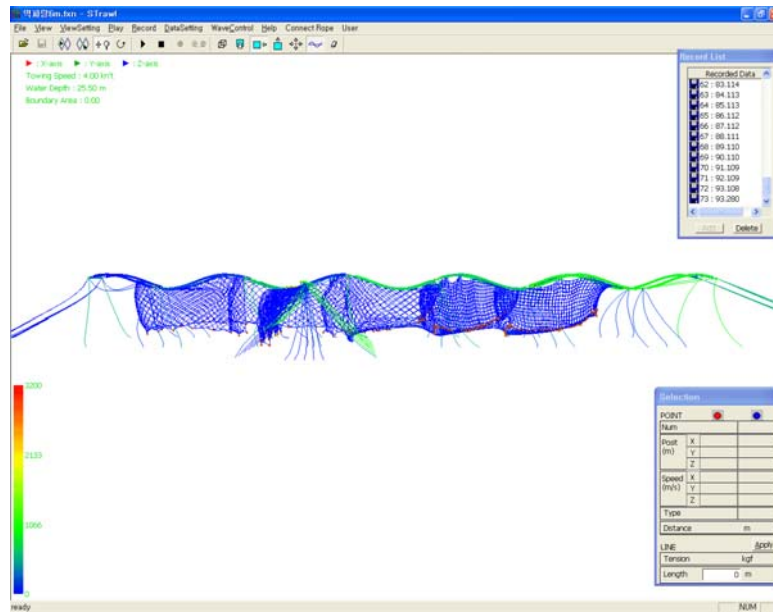
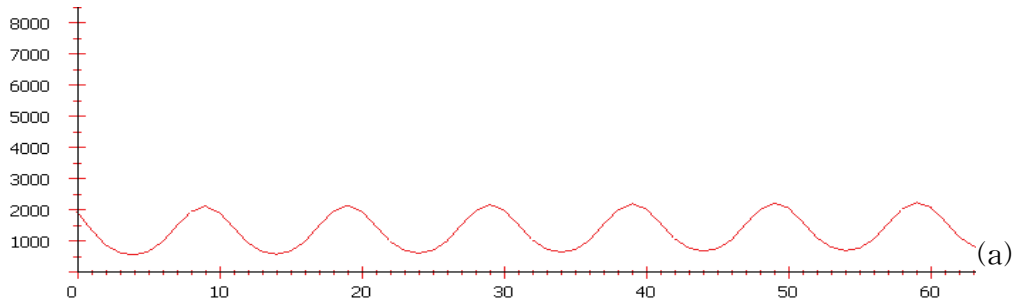
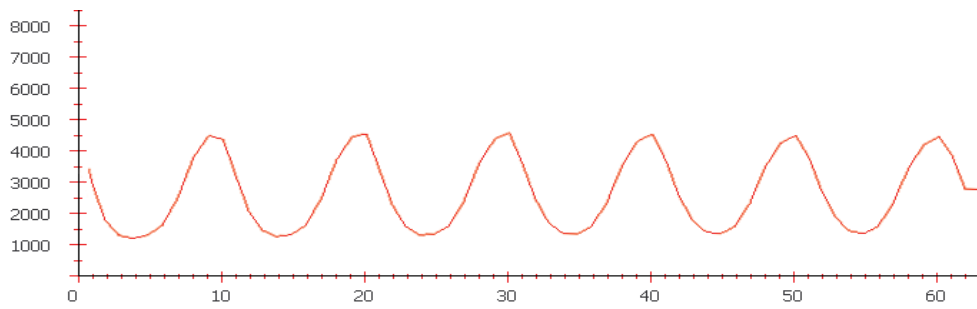


Fig. 5.2.7. Side view on the deformation of the pound net for the downward wave height of
(a) 2m (b) 4m (c) 6m.



(a)



(b)

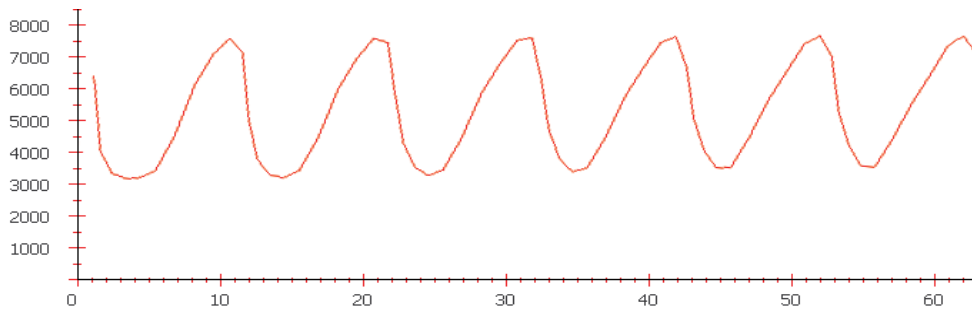


Fig. 5.2.8. Tension of mooring lines on downward according to the wave height in the downward flow.

(a) 2m (b) 4m (c) 6m.

제 3 절 유속과 파랑의 동시 작용에 대한 응답

1. 유속과 파랑이 같은 방향으로 작용할 경우

정치망에 파랑과 함께 다양한 유속을 동일한 방향으로 주었을 때의 형상 변화를 Fig. 5.3.1 ~ Fig. 5.3.3에 나타냈다. 파랑에 의해 그물이 모든 방향으로 크게 움직였고 그물의 형상변화 정도가 조류만 적용한 경우에 비해 더욱 커졌다. 상단부분의 명줄에 발생하는 장력은 규칙적으로 변하였고 조류만 작용하였을 때 보다 최대 150%까지 높아졌다. 따라서 파랑과 조류가 같은 방향으로 작용할 경우가 시설물에서는 가장 위험한 환경으로 대부분의 어구 유실 사고가 이 경우에 발생한다. 특히 정치망 시설은 망지에 부착생물이 달라붙으므로, 망갈이 이후 시간이 경과함에 따라 어구의 투영 면적은 크게 증가하므로 그에 따라 저항도 같이 증가되므로 조류와 파랑의 영향을 더욱 받게 된다. 여름철에는 부착생물에 따른 저항의 증가가 2-4배까지 되므로 이러한 경우에는 부착 생물이 없는 망지보다 10배 가까운 장력이 작용할 수 있으므로 시설물 설계 시에는 이러한 상황을 고려하여 충분한 안전계수를 고려한 설계가 필요하다.

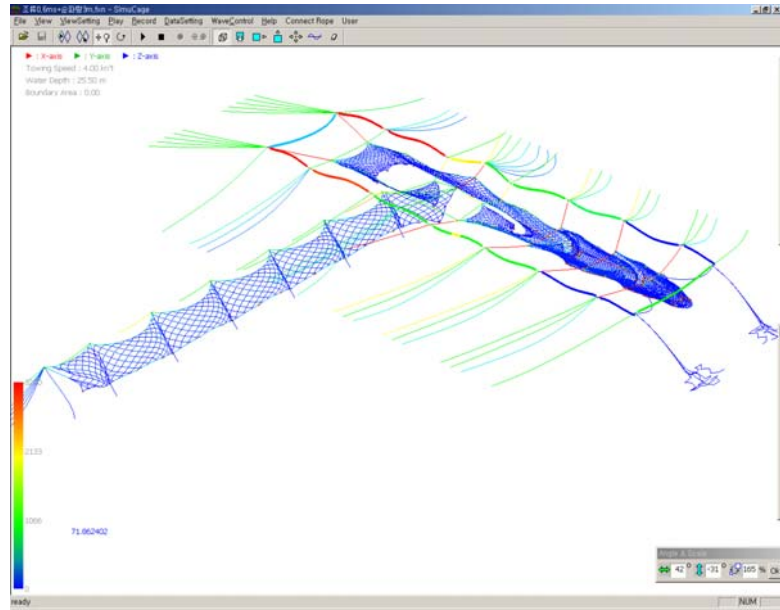


Fig. 5.3.1. 3-dimensional shape of the pound net system under the current of 0.6m/s and waves acting in the same direction.

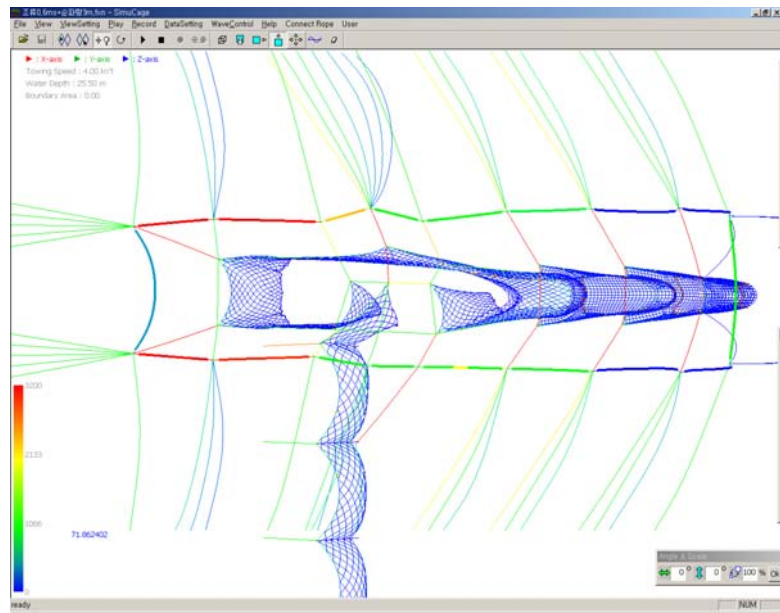


Fig. 5.3.2. Top view on the deformation of the pound net under the current of 0.6m/s and waves acting in the same direction.

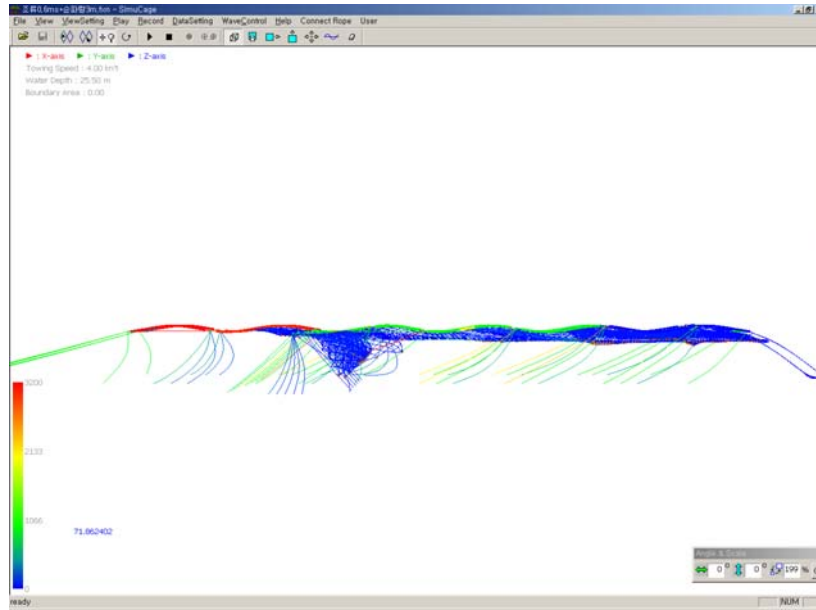


Fig. 5.3.3. Side view on the deformation of the pound net under the current of 0.6m/s and waves acting in the same direction.

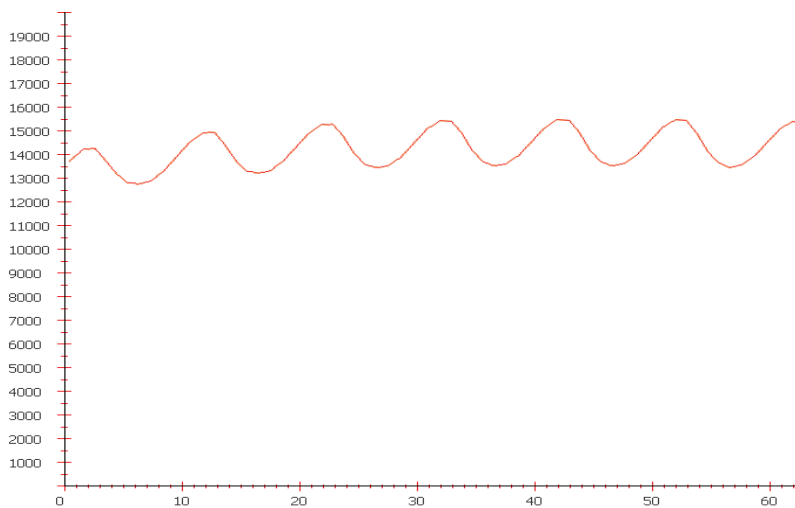
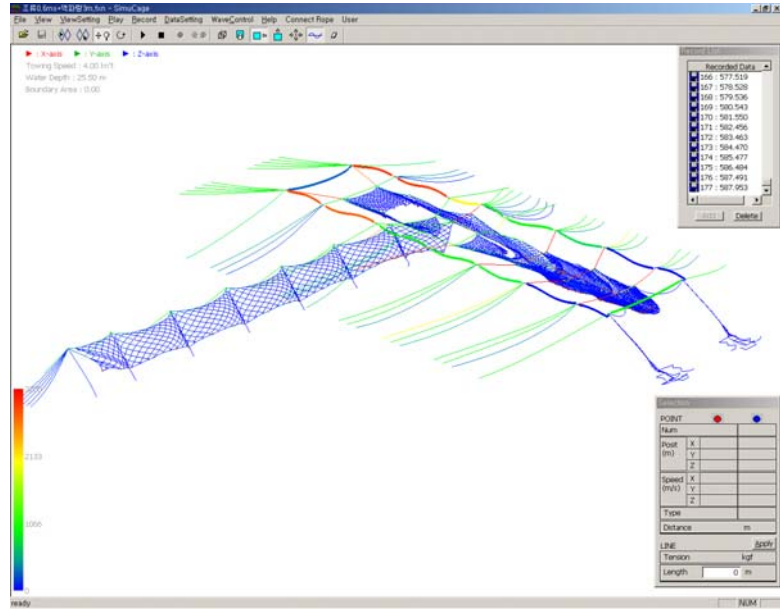


Fig. 5.3.4. Tension of mooring lines under the current and waves acting in the same direction.

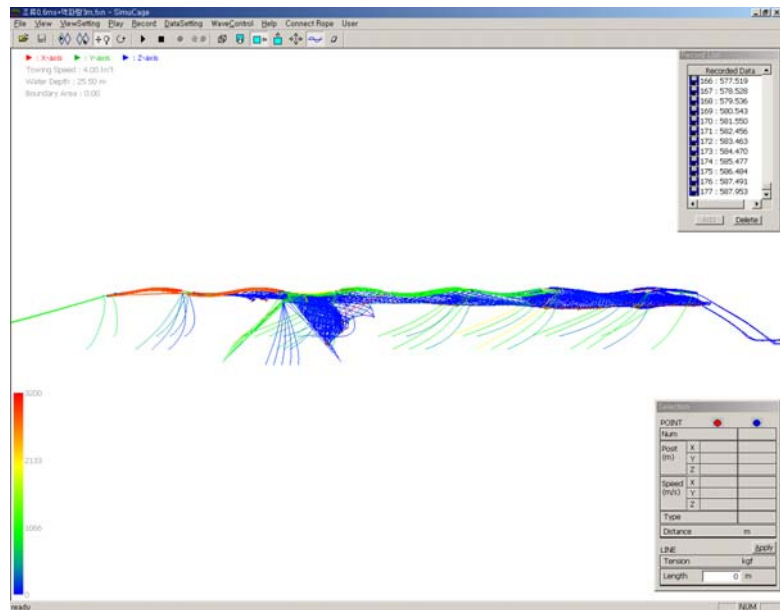
2. 유속과 파랑의 방향이 다를 경우

Fig. 5.3.5. ~ Fig. 5.3.6.은 조류와 파랑이 서로 반대 방향으로 작용할 때와 직교하는 방향으로 작용할 때의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 이때 파랑의 조건의 파장 $50m$, 주기 $10초$, 파고, $6m$ 로 하였고 조류는 $0.6m/s$ 로 하였다.

(a)



(b)



(c)

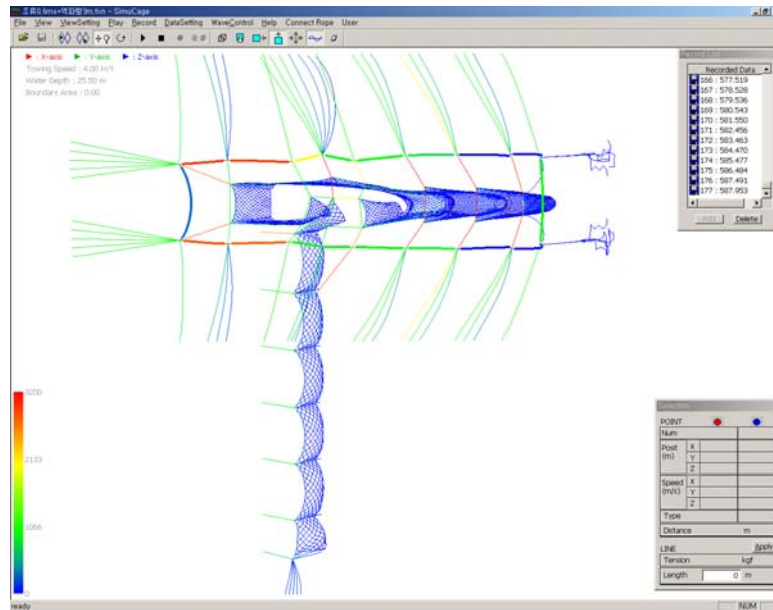
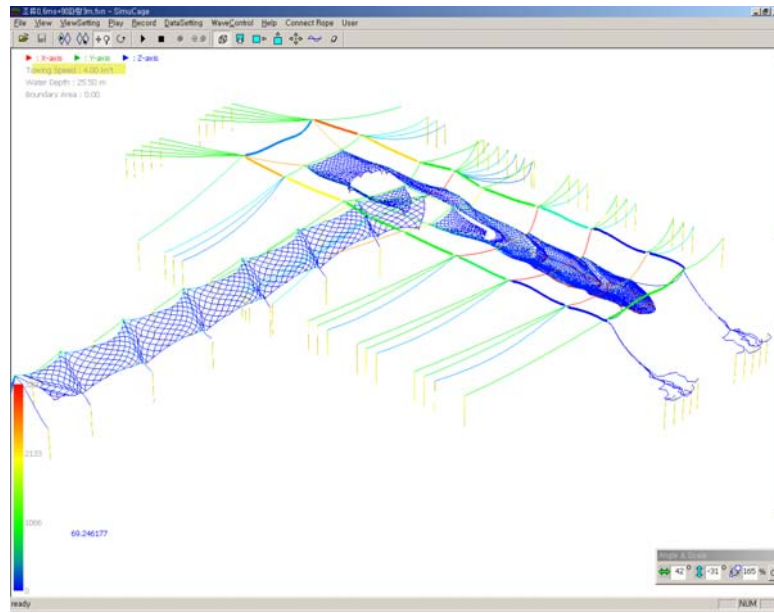
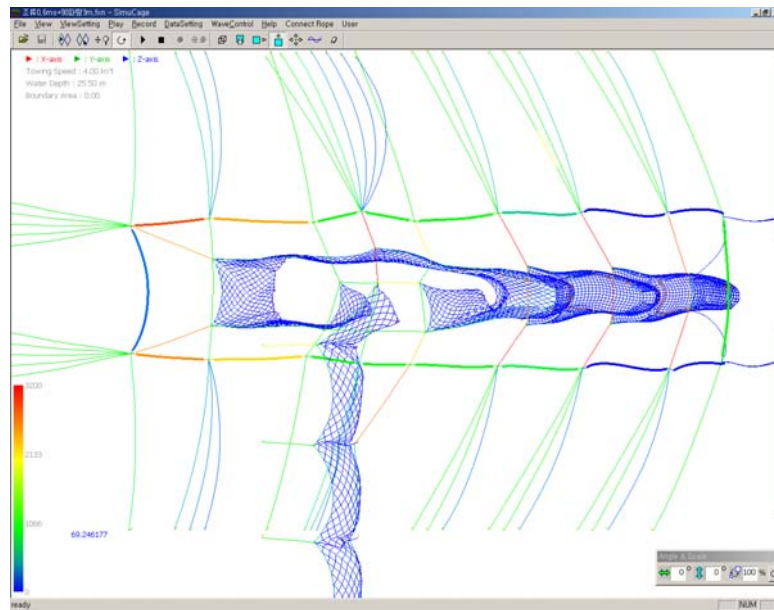


Fig. 5.3.5. (a)3-D, (b)top, and (c)side view on the deformation of the pound net system under the current of $0.6m/s$ and waves acting in the opposite direction.

(a)



(b)



(c)

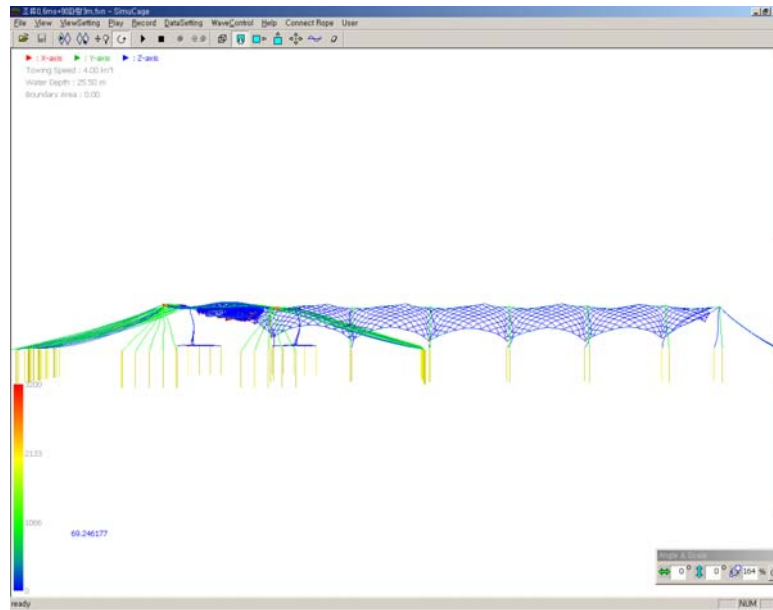
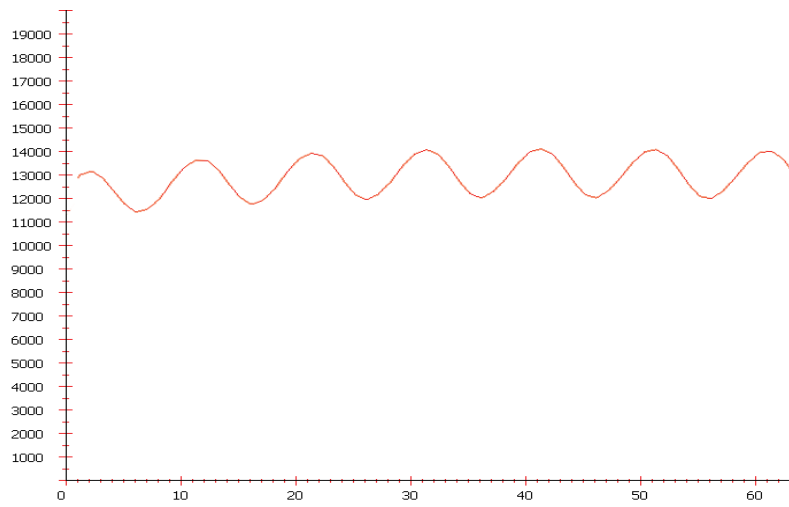


Fig. 5.3.6. (a)3-D, (b)top, and (c)side view on the deformation of the pound net system under the current of 0.6m/s and waves acting in the perpendicular direction.

(a)



(b)

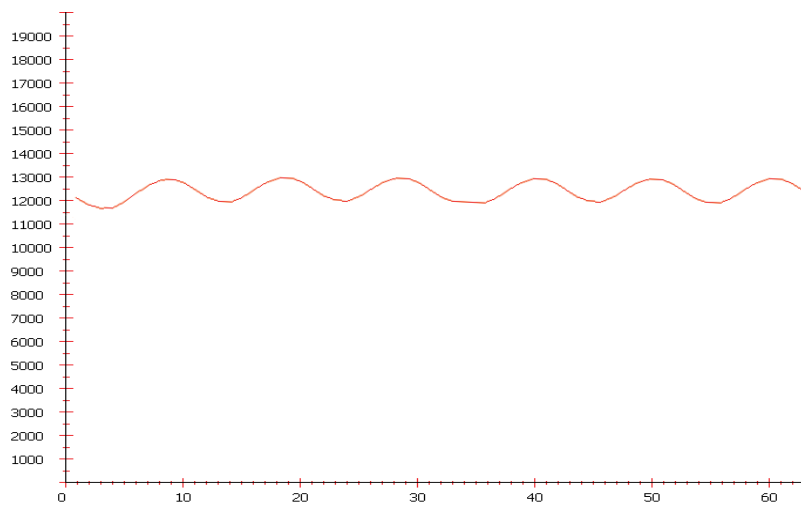


Fig. 5.3.7. Tension of mooring lines under the current and waves acting in the
(a) opposite and (b) perpendicular direction.

제 6 장 결 론

본 연구에서는 2년에 걸친 연구를 통하여 정치망어구의 설계 기준을 도출하고, 컴퓨터를 이용하여 어구를 설계하고 성능을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있는 정치망 어구 해석시스템을 개발하였다.

우선 동해와 남해의 다양한 정치망에 대한 현장조사를 실시하여 정치망어구의 실태를 파악하였고, 그중에서 표본이 될만한 어장을 선정하여 정치망 어장환경의 유형과 유속을 정밀 측정하여 어장환경을 분석하였다. 또한 표본이 되는 정치망의 축소된 모형을 제작하여 회류수조에서 실험함으로서 정치망의 수중형상을 유속에 따라 분석하였고, 설계기준을 도출하였다. 어장 정밀 조사와 모형실험에서는 아래와 같은 사항을 얻을 수 있었다.

모형실험에서 대뜸의 명줄에 작용하는 장력값은 각 유속별로 모두 상당한 편차가 있었고, 모형실험의 결과인 장력을 실제값으로 환산하면 유속이 약 $0.0\sim 2.4\text{k/t}$ 로 증가함에 따라 약 $0\sim 38$ 톤의 장력이 양쪽 대뜸의 명줄에 균일하게 작용한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 어구 설계 시에는 각 유속별 장력의 최대값을 고려하여 명줄, 사개줄 및 각부 망지의 재질을 선정하고, 형상의 변형이 최소화 되도록 침자와 망지를 적절하게 배치하는 것이 어구의 내구력을 향상시키고 파손으로 인한 조업손실을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 정치망과 같은 우리형 그물은 그물 외부보다 그물 내부에서 유속이 더 작고 흐름의 방향의 후방에 있는 그물감이 전방에 있는 그물감보다 유수저항을 작게 받는다. 따라서 흐름에 따른 모형망의 수중형상 변화 중에서 가장 직접적으로 영향을 받는 부분은 조상측에 배치된 그물이며, 이 부분의 수중형상은 유속의 증감에 따라 민감하게 변화를 일으키게 된다. 또한, 조상측 각 그물의 까래의 형상변화도 매우 현저하며, 상대적으로 조하측 그물은 영향을 적게 받게 된다. 그러나 조하측에 배치된 그물도 유속이 빨라짐에 따라 형상의 변화도 적지는 않았다. 특히, 원통의 까래 깊이의 급격한 감소는 그물 내부용적을 줄어뜨리게 하여 입망한 어군이 위협을 느껴 도피할 가능성을 증대시키는 요인이 될 수 있다.

그리고, 시험 정치망 어장의 유형과 유속의 측정실험의 결과에서 어장주변 유속의 범위는 약 $0.0\sim 1.2\text{k/t}$ 로 나타났다. 또한, 썰물일 때 인 원통이 조상측인 경우에는 원통이 조류와 만나는 방향이 원통의 부설방향과는 약 20° 정도 편차가 있었으나, 밀물일 때인 운동장 조상측인 경우에는 운동장이 조류와 만나는 방향이 운동장의 부설방향과 거의 일치하였다.

그런데, 모형 정치망의 회류수조에서의 모형실험의 결과, 운동장의 부설방향과 운동장이 조류와 조우하는 방향이 거의 일치하는 운동장 조상측인 경우, $0.7k/t$ 에서는 운동장 아랫자락과 비탈그물의 까래가 급격히 부상하면서 조하측으로 날리고, 운동장의 창문망도 조하측으로 날리게 되어 어군의 입망을 방해할 것으로 판단되어, $0.7k/t$ 이상에서는 어획성능이 급격히 감소하여 $1.2k/t$ 에서는 어획이 거의 되지 않을 것으로 판단된다. 그리고, 원통이 조상측인 경우 $0.7k/t$ 이상에서는 원통이 조류에 날려 정조시의 원통 까래깊이의 약 20%정도로 용적이 감소하여 어획성능이 현저히 떨어질 것으로 추정되며, 시험어장에서의 최대 유속인 $1.2k/t$ 이상에서는 거의 어획이 되지 않을 것으로 판단된다. 특히, 1일 24시간 중 $0.7k/t$ 이상의 유속을 보이는 시간은 평균 10시간이상으로 나타났기 때문에 이러한 조류에 의한 어획부진의 정도는 더욱 심할 것으로 판단된다.

다음은 정치망 어구시스템을 이론적으로 해석할 수 있는 수학모델을 기술하였다. 정치망을 포함한 대부분의 어구시스템은 망지, 로프, 뜸 및 침자 등의 여러 부속구로 구성되고 전체적으로 유연구조물로 간주된다. 본 연구에서는 이러한 유연구조물의 변형을 지배하는 운동방정식을 질량-스프링(Mass-spring) 질점법을 이용하여 기술하였고, 기술된 운동방정식을 안정되게 수치계산 할 수 있는 음공식(implicit)에 의한 적분 방법을 제시하였고, 수치계산의 안정성과 정확성을 실험을 통하여 확인하였다. 여기서 확립된 모델링과 계산방법을 이용하여 실제 정치망에 조류 및 파랑에 대한 응답을 계산하여 정치망의 변형과 장력을 분석하였다. 계산을 통하여 분석한 결과는 아래와 같다.

모델이 된 거제도 정치망의 유속에 대한 거동은 $0.2m/s$ 에서 운동장 그물의 경사는 51° , 장력은 3.3톤 유속 $0.4m/s$ 에서는 운동장 그물의 경사는 75° , 장력은 7톤, $0.6m/s$ 에서는 운동장 그물의 경사는 75° , 장력은 10.8톤이다. 여기에 파랑이 작용하면 장력은 유속만 작용할 때 보다 1.5배 증가하였다.

마지막으로 컴퓨터상에서 정치망어구의 설계도면을 작성하고 자동으로 시뮬레이션 할 수 있는 정치망어구설계 및 해석 시스템을 개발하였다. 개발된 프로그램은 정치망 어구설계용 CAD프로그램, 어구재료에 대한 데이터베이스 프로그램, 운동방정식 자동 생성 프로그램과 3차원 그래픽시스템 등이다. 그리고 이들 프로그램을 결합하여 정치망어구 설계 및 해석시스템의 시작품을 제작하였다. 본 연구에서 제작된 시작품의 실용성을 검증하기 위해서 실제의 정치망 시스템에 대해서 수치계산 및 시뮬레이션을 실시하였다. 이 시뮬레이션에서는 파랑과 조류가 독립적으로 작용하기도 하고 동시에 작용하기도 하는 환경에서 수치계산이 성공적으로 수행됨

을 확인할 수 있었다. 이러한 수치계산 및 시뮬레이션 기법을 응용하면 실제 시스템을 제작하기 전의 설계 단계에서 다양한 환경 외력에 대한 안전성을 평가할 수 있으므로 보다 안전한 시스템을 경제적으로 설계하는데 도움이 될 것이다.

또한 본 연구에서 개발된 시스템은 계류된 유연구조물의 설계 및 해석에 적용될 수 있으므로 양식용 가두리의 설계 및 시뮬레이션에 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 이미경 · 이춘우(2004) : 潮流의 영향을 받는 가두리의 거동해석, 韓國漁業技術學會誌 40 (3), 214-224.1)
- 2) 이동근 · 이주희(1997). 定置網에 대한 魚群의 對網行動. 韓國漁業技術學會, Vol.33.No.2, p.109~117.
- 3) 李元羽 · 莘亨諡 · 李昊在 · 申鉉玉(1995). 遠融魚群探知幾 試作 및 그 應用에 관한 研究-Ⅲ, -定置網內에 대한 魚群의 大網行動調査-. 韓國漁業技術學會, Vol.31.No.1, p.63~73.
- 4) 李珠熙 · 廉末九 · 李秉錡(1986). 定置網 漁場의 魚道形成에 관한 基礎研究 (1) -漁場環境 要因-. 漁業技術 Vol.22, No.3, p.1~7.
- 5) 李珠熙 · 廉末九 · 李秉錡(1988). 定置網 漁場의 魚道形成에 관한 基礎研究 (2) -海底地形과 海水流動- 漁業技術 Vol.24, No.1,p.12~16.
- 6) 李珠熙 · 廉末九 · 李秉錡(1988). 定置網 漁場의 魚道形成에 관한 基礎研究 (3) -漁獲資料의 統計的 分析- 漁業技術 Vol.24, No.2,3, p.71~77.
- 7) 이현열 · 박정희 역(2000) : C로 쓴 수치해석. 대영사, 327-393.
- 8) 김태호, 김재오, 김대안(2000): 우리형 그물의 유속에 따른 변형 및 적정 침자량. 한국어업기술학회지. 37(1), pp. 45-51.
- 9) 김대안(1995) : 그물어구의 유수저항과 모형수축(1. 유수저항의 해석 및 평면 그물감의 재료에 의한 검토). 한국수산학회지. 28(2), pp 183-193.
- 10) 김대안(1995) : 그물어구의 유수저항과 모형수축(2. 자루형 그물의 유수저항). 한국수산학회지. 28(2), pp 194-201.
- 11) 노영수 · 정진태 · 배대성(1997) : 가변시간간격을 갖는 Newmark 시간적분법의 사다리꼴 법칙에 대한 안정성과 정확도. 대한기계학회논문집(A), 21(10), 1712-1717.
- 12) 박노길 · 손권 · 이시복 · 한상보 · 박성태 · 이건명 · 정의봉 역(2001) : 기계진동학, (주)피어슨 에듀케이션 코리아, 566-611.
- 13) 秋海大 · 柳連茂 · 李炳文 · 金泰安 · 張志元(1985). 定置網 원통 揭網 省力化에 관한 연구. 國立水産振興院 研究報告. 제34호, p.143~149.
- 14) 吳熙國 · 金再午 · 趙光宇(1988). 定置網의 場網에 관한 省力化 研究. 國立水産振興院

研究報告. 제42호, p.93~104.

- 15) Miyake Y.(1927) : On the Plane Nets in Water. J. Imp. Fish. Inst. 23(2), pp. 21-31(in Japanese).
- 16) 曹台絃 · 朴海勳(1997). 定置網 魚群監視 system 開發에 관한 研究, 1996년도 동해수산업 연구 사업보고서. p89~104.
- 17) 松田 , 領木 誠, 乘廣春之(1984),定置網の網刑模型に對する魚群行動の水曹實驗. 日本誌 Vol. 50(7), 1109-1114.
- 18) 探堀一夫 · 粕谷 勝 · 西 首英之(1988). 自動定置網の開發について.長崎大學水産學部 研究報告, 第66號, p.45~51.
- 19) 秋山清二, Mulyono S. Baskoro, 有元貴文(1985). 小型定置網への語群のへ入網時刻. 日本水産學會, 第61卷 第5號, p.738~743.
- 20) 松田 , 領木 誠, 乘廣春之(1986),落網の網刑模型に對する魚群行動の水曹實驗. 日本誌 Vol. 52(4), 657-664.
- 21) 井上善洋(1978), 定置網漁場と魚群分布-Ⅲ, うみ,16,211~219.
- 22) 井上善洋 · 田原陽 · 松尾勝樹(1986),魚群の一周運動と定置網,日本誌,52,55~60.
- 23) 唐逸民 · 小池篤 · 平元泰輔(1981), 定置網の網刑の變遷に半う漁獲の變化, 日本誌 48(7), 895~902.
- 24) 山口恭弘(1995). 沿岸漁業の研究 ⑥水産縣長崎における沿岸漁業の現状と課題, 水産の研究, 14卷1號, p38~47.
- 25) 徳永武雄(1977), 最近の小型定置網の現況とろの漁具について, ていち, 52, 3~39.
- 26) 小池篤(1983), 定置網の垣網の誘導作用に關する研究, 昭和 56~57 年度科學研究裨補金研究成果報告書, 1~27.
- 27) 西山作穢(1978), 最新定置網の手引き, 札, 幌, 北日本海洋センター, 657p
- 28) 野寸正恒(1985), 最近漁業技術一般,東京,成山堂書店, 180~196.
- 29) 平元泰輔(1970), 定置網の標式放流と居残り率について. ていち, Vol.43, 日本定置漁業協會, 14-21.
- 30) Aarsnes J.V., Rudi H. and Loland G.(1990) : Current Forces on cage, net deflection. Engineering for offshore fish farming. Tomas Telford, London, pp. 137-152.
- 31) Miyake Y.(1927) : On the Plane Nets in Water. J. Imp. Fish. Inst. 23(2), pp.21-31(in

Japanese).

- 32) 平元泰輔(1983), 兩箱網内と垣網附近の標式放流について. ていち, Vol.65 32-1.
- 33) Milne P. H.(1970) : Fish Farming. A Guide to the Design and Construction of Net Enclosures. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. Marine Research Rep. No(1), pp. 185-187.
- 34) Nakamura M.(1991) : Fisheries Civil Engineering. Tokyo. pp. 493-494(in Japanese).
- 35) Slaattelid, O. H.(1990) : Model Test with Flexible, Circular Floats for Fish Farming. Engineering for Offshore Fish Farming Conference, Glasgow, United Kingdom. pp. 93-106.
- 36) Ormberg H.(1991) : Non-linear Response Analysis of Floating Fish Farm Systems, Ph. D. Thesis. Division of Marine Structures. The Norwegian Institute of Technology, Trondheim. pp. 54-79.
- 37) Fu E. B, K. Nashimoto, Yamamoto K. and Hiraishi T.(1991) : Fluid Force on Plane Nets in Wave and Water Flow. Nippon Suisan Gakkashi. 57(11), pp. 2039-2043(in Japanese).
- 38) Fu E. B, K. Nashimoto and Yamamoto K.(1989) : Fluid Force on Simplified Models of Aquaculture Net Cage. Nippon Suisan Gakkashi. 55(7), pp. 1211-1216(in Japanese).
- 39) Fu E. B, K. Nashimoto, Yamamoto K., Hiraishi T. and Takagi T.(1994) : Model Experiment Examination of Mooring Method in Aquaculture Net Cage. Bulletin of the Faculty of Fisheries. Hokkaido University. 45(1), pp. 9-18(in Japanese).
- 40) Geradin M., Rixen D. Mechanical vibrations. WILEY, New York, 1997; 367-411.
- 41) Prado j. FISHERMAN'S WORKBOOK. FAO by Fishing News Books Oxford. 1990

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.