

83 9. 22
L2938

최 종
연구보고서

오징어 채낚기 어업의 Sea Anchor 개량 및
투양묘 방법 기계화에 관한 연구

Improvement of Sea Anchor and
Mechanization of Sea Anchor Operating System

주관연구기관 : 국립수산진흥원

위탁연구기관 : 부 경 대 학 교

국 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "오징어 채낚기 어업의 Sea anchor 개량 및 투양묘 방법 기계화에 관한 연구" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 12. 29.

주관연구기관명 : 국립수산진흥원

총괄연구책임자 : 안 희 춘

세부과제책임자 : 양 용 수

연 구 원 : 박창두, 박해훈, 최재은,
정의철, 김태호, 배봉성,
이정우, 박성욱, 강병무,
예영희, 박진영, 김재오,
양용림, 안영일, 이춘우,
신종근, 임기봉, 조영복,
배현민, 김상진, 전승환,
정진호, 김석주

위탁연구기관명 : 부 경 대 학 교

위탁연구책임자 : 김 진 진

연 구 원 : 권병국, 노기덕, 강남중,
아동근, 정기철, 김인진

여 백

요 약 문

I. 제 목

오징어 채낚기 어업의 Sea anchor 개량 및 투양묘 방법 기계화에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라 연근해에서는 약 5천여척의 각종 채낚기 어선이 조업중에 있으며, 이 중 오징어 채낚기 어선이 차지하는 비중이 가장 높다. 또한 오징어 채낚기 어선에 의한 어획량은 매년 증가하고 있으며, 최근에는 연근해 어업 총생산량의 7.1%를 점하는 연근해 주요 어업중의 하나이다.

오징어 채낚기 어선의 주요 어로 장비는 Sea anchor(물뚝), 집어등 등이 있으며, 이 중 Sea anchor는 조업중 어선이 조류의 흐름과 비슷한 속도로 흘러가게 하여 조획작업을 용이하게 함과 동시에 오징어 어군을 선저의 음영부에 오래 머물도록 하며 황천중에는 선박의 안정성을 확보해 준다. 따라서 Sea anchor는 오징어 채낚기 어업에 있어서는 오징어 어군을 집어하는 집어등과 함께 필수적인 장비이다.

그러나 현재까지 오징어 채낚기 어선에 사용되고 있는 Sea anchor의 전개성능 및 역학적 특성 등에 관한 연구는 거의 없고, 현재 사용중인 Sea anchor의 형상 및 규모는 어선의 크기와 바람, 조류 등의 역학적 관계를 충분히 고려하여 제작되기보다는 일반 천막사에서 경험에 의존하여 제작되고 있다. 따라서 오징어 채낚기 어선의 조업 효율을 높이기 위해서는 Sea anchor의 역학적 특성 구명과 성능이 우수한 Sea anchor의 개량 및 생력화가 절실한 실정이다. 그리고 오징어 채낚기 어선에서도 선원의 인력난으로 어려움을 겪고 있으며, Sea anchor 투양묘 작업에 많은 인력이 소요되므로 투양묘 작업의 기계화를 통한 인력 절감으로 오징어 채낚기 어업의 경쟁력 제고가 시급히 요구되고 있다.

본 연구에서는 오징어 채낚기 어업에 사용되는 Sea anchor의 역학적 특성 구명 및 개량을 위하여 형상이 다른 수종의 Sea anchor를 설계 제작하여 모형 및 해상 실험을 행하였다. 또 Sea anchor의 투양묘 과정에 필요한 인력의 절감을 위하여 투양묘 방법을 기계화함으로써 오징어 채낚기 어업의 생력화를 도모하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 오징어 채낚기 어업에 사용되는 Sea anchor의 역학적 특성 구명과 Sea anchor 개량 및 투양묘 방법의 기계화를 세부과제로 나누어 수행하였다.

1. Sea anchor 개량

Sea anchor의 역학적 특성 및 개량에 관한 연구를 수행하기 위하여 먼저 국내, 일본 및 대만의 오징어 채낚기 어선들이 사용하고 있는 Sea anchor의 실태조사를 행하고, 현재 어선들이 사용하고 있는 Sea anchor의 형태 및 투양묘 방법을 파악하였다.

Sea anchor의 형태별 유체역학적 특성 구명과 개량에 필요한 기초지식을 얻기 위하여 흐름의 수치해석 기법을 사용하여 2차원 원호형 Sea anchor 주위의 유동장을 시뮬레이션하여 형상별 유체역학적 특성치를 조사하였다. 또 회류수조에서 수종의 Sea anchor에 대한 모형실험을 행하여 각 형태별 항력계수 및 Sea anchor 주위의 흐름의 양상을 구명하였다. 이와 같은 시뮬레이션 및 모형실험의 결과를 토대로 하여, 전개성능이 우수한 Sea anchor의 형태 개량을 위하여 수종의 원추형 및 반구형 Sea anchor를 설계 제작한 다음, 해상에서 상업선을 이용하여 현장 실험을 행하고, 형태별 Sea anchor의 전개성능 및 운동특성을 비교·분석하였다.

2. 투양묘기 개발

연근해 오징어 채낚기 어선 중 톤급별 투양묘기 사용 실태와 투양묘 방법에 대

한 실태조사 결과, 50톤급 이하의 소형 연근해 채낚기 어선에서는 인력에 의한 투양묘 방식이 대부분이며, 아직까지 기계화가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 인력 절감을 위하여 투양묘 방법의 기계화가 시급한 소형어선에 적합한 Sea anchor 투양묘기를 개발하기 위하여 1, 2차에 걸쳐 투양묘기 시제품을 설계·제작하여 해상시험을 행하고, 문제점을 보완하여 소형어선에 적합한 Two-drum형 투양묘기를 개발하였다.

IV. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 개발 결과

가. Sea anchor 개량

1) 모형실험

현재 채낚기 어선에서 사용중인 Sea anchor의 형태는 직경에 대한 길이의 비가 약 0.23~0.35, Sea anchor의 본체 측면과 입구의 수직면이 이루는 각도가 약 25~35° 전후인 원추형이다. 따라서 Sea anchor의 모형실험에서는 Sea anchor 본체의 측면과 입구 단면이 이루는 각도(θ)가 각각 0°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°인 원추형 6종과 재단 방법을 달리한 반구형 4종을 설계·제작하여 회류수조에서 유속의 변화에 따른 모형의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비를 구하였다. 이 때 모형의 배수구 직경은 모형 입구 직경(30cm)에 대해 각각 1/30, 2/30, 3/30으로 변화시켰고, 연줄 길이는 모형 직경의 각각 1.5배(45cm) 및 2.0배(60cm)로 하였다.

실험 결과, 원추형 Sea anchor의 경우는 본체의 설계직경에 대한 높이의 비, 즉 θ 가 클수록 수중 전개직경 및 항력계수가 높게 나타났다. 또 반구형은 원추형에 비하여 수중 전개직경 및 항력계수가 높고, 재단방법의 차이에 따른 항력계수의 차이는 적었다. 배수구 직경의 크기에 따른 항력계수의 변화는 배수구 직

경이 클수록 약간 높아지는 경향을 나타내었으며, 연줄 길이의 변화에 따른 항력 계수는 입구 직경의 2배인 경우가 1.5배인 경우에 비해 다소 높게 나타났다.

이상의 결과로부터 Sea anchor의 전개효율은 원추형에 비하여 반구형이 좋으며, 배수구의 직경은 입구 직경의 약 10% 정도, 연줄의 길이는 직경의 약 2배로 하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

2) Sea anchor 유체역학적 특성시험(위탁연구과제)

가) Sea anchor 주위의 유동장 특성 수치해석

2차원 원호형 Sea anchor 주위의 흐름 특성 및 역학적 특성을 이산와법에 의한 수치계산으로 해석한 결과, 시간변화에 따라 항력계수는 거의 일정하나 양력 계수는 칼만와의 영향으로 주기적으로 진동한다. 캠버비가 증가할 경우, 항력계수 및 Strouhal수의 변화는 없으나 양력계수의 진폭은 크게 증가하고 압력면측의 유체는 거의 정체상태에 놓인다.

나) Sea anchor 모형의 역학적 특성실험

Sea anchor의 형상 변화에 따른 전개성능을 조사하기 위하여 수 종의 원추형, 나팔형, 낙하산형의 모형을 제작하여, 회류수조에서 모형실험을 행한 결과, 낙하산형의 모형이 원추형이나 나팔형에 비해 전개성능이 우수하고 설계직경에 대한 높이의 비가 클수록 전개성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 또 연줄의 구조를 망목형으로 하였을 경우, 종래의 직선형에 비하여 전개성능이 좋아지며 연줄의 꼬임을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.

3) 시제품 해상성능시험

수치 시뮬레이션과 모형실험에서 얻어진 결과를 토대로 하여 Sea anchor의 직경이 각각 20.6m인 원추형($\theta = 50^\circ$) 1종과 반구형 1종, 상업용으로 사용되고 있는 직경 25.9m인 원추형($\theta = 25^\circ$) 1종에 대한 해상실험을 행하고 항력계수 및 설계직경에 대한 전개 직경의 비를 조사하였다.

실험 결과, 직경 20.6m인 원추형($\theta = 50^\circ$)의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비는 각각 0.16~0.31(평균 0.231) 및 0.60~0.82(평균 0.74)였고, 직

경 20.6m인 반구형의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비는 각각 0.12~0.25(평균0.18) 및 0.60~0.92(평균 0.80)이었으며, 직경 25.9m인 상업용 Sea anchor의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비는 각각 0.11~0.30(평균 0.18) 및 0.57~0.79(평균 0.67)이었다.

이상의 결과로부터 Sea anchor의 설계직경에 대한 전개직경의 비는 모형의 경우와 같이 반구형이 가장 크고, 원추형의 경우는 θ 값이 클수록 크다는 것을 알 수 있으나, 형상의 변화에 따른 항력계수의 값은 모형의 경우와는 달리, 그 차이가 매우 적다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 항력계수의 차이는 Sea anchor가 고체가 아닌 유연체이고 또 실물과 모형 사이의 Reynolds수의 차가 매우 커기 때문이라고 생각된다. 금후 Sea anchor의 항력계수에 관해서는 보다 많은 연구를 통하여 명확하게 밝혀져야 한다고 생각된다.

나. 투양묘기 개발

1) 제 1차 시작품 설계·제작

연근해 채낚기 어선 중 100톤급 이상의 어선에서는 투양묘기를 사용하는 경우가 많으나, 그 이하 톤급의 어선에서는 거의 사이드 롤라를 사용하여 투양묘 작업을 행하고 있다. 본 연구에서는 30톤급 어선용 투양묘기를 도출하기 위하여 현재 트롤어업에서 사용하고 있는 트롤원치를 응용하여 30톤급 Sea anchor, 양묘줄, 배잡이줄 등의 용적을 산출한 후 안전사용율 및 줄의 감기는 효율 등을 고려하여 투양묘기 규모를 결정한 결과, 직경은 0.6m, 길이는 1m로 각각 결정하였다. 투양묘기의 장력은 안전사용율을 고려하여 1톤으로 설계하였으며, 투양묘기 Torque는 350kg·m로, 양묘속도는 18.20rpm, 기어의 치각대 각속도비는 1/3이 되도록 하여 투양묘기를 제작하였다.

2) 해상적응시험

투양묘기는 상업용 어선 길양호(29.0톤)의 선수부에 설치하여 해상기초시험을 실시한 결과, 투양묘기의 기계적, 전기적, 유압적인 문제점은 발생하지 않고 정상적으로 작동되었으며, 동급 어선의 작업인원 6~7명을 4명으로 2~3명 감축 가능

하여 33~43%의 인력 절감효과를 얻을 수 있었다. 그러나 Sea anchor 투양묘 작업의 구조적인 문제로 인하여 다음 투묘를 위해서는 투양묘기 릴의 가장 안쪽에 감겨있는 추를 밖으로 꺼내기 위해 Sea anchor를 릴에서 풀어내는 작업을 별도로 행해야 하는 번거로움이 있었다.

3) 개량형 Two-drum형 투양묘기 설계·제작

2차년도에는 1차년도 연구 결과 구명된 작업공정상의 문제를 해결하기 위하여 보다 개량화된 Two-drum형 투양묘기를 설계·제작하여 해상적응시험을 실시한 결과, 윈치 형태의 적정성과 원격제어 콘트롤 면에서 개량형 투양묘기가 우수한 것으로 나타났으며, 작업인력을 6~7명에서 3명으로 줄여 50% 이상의 인력절감 효과를 거두었고 작업시간도 수동의 20분에 비해 개량형은 8분이 소요되어 60% 단축되었으며, Two-drum형 투양묘기에 대해 특허출원 중에 있다.

2. 활용에 대한 건의

최근 들어 수산물 수입개방과 UN에 의한 책임있는 어업에 대한 행동지침의 시행 등과 같은 외적인 요인과 함께 연근해 어장의 오염과 남획에 의한 자원고갈 현상이 심화되면서 우리나라 연근해 어업의 국제 경쟁력 확보가 시급한 현안 문제로 대두되고 있다. 오징어 채낚기 어업은 우리나라 연근해 주요 어업 중의 하나로서, 국제 경쟁력을 높이기 위하여 조업 과정의 생력화가 진행중에 있으나, 필수 장비 중의 하나인 Sea anchor에 대한 연구는 제대로 이루어지지 못하여 동 어업의 인력 절감과 효율적인 조업에 걸림돌이 되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서 도출된 Sea anchor 구조 개량에 의한 적정 형상의 제시와 인력을 50% 이상 절감할 수 있는 투양묘기의 개발은 그 의의가 매우 크다고 할 수 있다.

먼저 Sea anchor 개량에서는 기존의 Sea anchor 종류별 전개성능과 수중형상에 관한 자료가 확보되고 성능이 향상된 개량형 Sea anchor를 도출함에 따라 어업자들이 조업해역과 어선의 규모에 적합한 Sea anchor를 사용하여 효율적으로

조업할 수 있게 될 것으로 기대된다. 또한 30톤급 어선의 경우 6~7명의 조업인력을 최대 2명으로 줄여서 투양묘 할 수 있는 투양묘기를 개발함으로써 동 어업의 국제 경쟁력 확보에 획기적으로 기여하게 될 것이다. 그리고 본 연구에서 얻어진 모든 자료는 양송기 및 양망기의 구조개선 등 타 어업의 기계화 및 어구어법 개량에 있어서 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구를 통하여 도출된 성과는 국립수산진흥원 주관의 '현장애로 기술개발과제 결과 발표회'를 통하여 관련 어업인, 제작업체 관계자 및 학계에 홍보할 예정이며, 개발된 Sea anchor과 투양묘기는 특허출원 중에 있다. 이와 함께 동 연구 결과의 원활한 보급을 위해서는 업계에서 시작품을 각 해역과 조업선의 조건에 맞게 현장에서 보완하여 실용화시켜 나가는 노력과 정책적 지원이 필요할 것으로 생각된다.

여 백

SUMMARY

Improvement of Sea Anchor and Mechanization of Sea Anchor Operating System

Recently with the opening of fisheries market and conduct of responsible fisheries by U.N., and with reduced resources by overfishing and environmental pollution in coastal and off-shore fishing grounds, an urgent facing problem is to take an international competitive power of those fisheries. As squid jigging fishery in our country is one of the principal coastal and off-shore fisheries, a mechanization of the catching process of the fishery is under going to improve an international competitive power.

A sea anchor, one of the important equipments of squid jigging boat, enables the boat to flow with a speed similar to current and make easy its fishing operation. Also it keeps squid remaining in the shadow under the boat during catching work and makes the boat safe in rough weather. The mechanization of hauling the sea anchor which reduces labor force has, however, not much been studied, then the squid jigging fishery is lack in efficiency of the operation and has low competitive power.

In this paper to find out the hydrodynamic characteristics of a sea anchor and develop it, a series of model experiments and *in situ* experiments on several sea anchors were carried out. And to reduce labor force which is necessary for anchoring and hauling a sea anchor, a winch for hauling sea anchor was designed and made. We equipped it at a commercial squid jigging boat, the Gilyang-ho(G/T 29 ton), and tested its performance at sea.

The obtained results can be summarized as follows :

1. To find out the hydrodynamic characteristics of the sea anchor and develop it, we carried out a simulation which is to generate water flow around a sea anchor using the computational fluid mechanics by the discrete vortex method in two demension. It shows that drag coefficient is almost constant, while lift coefficient vibrates periodically due to the Karman vortex.

2. Opening efficiency of Semi-sphere type in the model experiment was greater than that of Cone type. It was prefered that the diameter of vent was 10% that of mouth and the length of suspension line twice that of mouth.

3. Opening performance of Semi-sphere type, such as opening area, drag, and drag coefficient, of the sea anchor depending upon the shape factor shows greater than that of Cone and Horn type. The greater the ratio of the height to diameter of sea anchor, the more the opening performance increases.

4. When the structure of suspension line of sea anchor is net-work type rather than a conventional linear type, the opening efficiency was increased and the line was kept from being twisted.

5. The range of drag coefficient and the ratio of the measured diameter to the designed diameter(20.6m) of Cone type sea anchors was 0.16 ~ 0.31 (mean 0.231), and 0.60 ~ 0.82 (mean 0.74), respectively. In case of a Semi-sphere type sea anchor(20.6m in diameter), the former was 0.12 ~ 0.25 (mean 0.18) and the latter was 0.60 ~ 0.92(mean 0.80). In case of a commercial sea anchor(25.9m in diameter), the former was 0.11 ~ 0.30(mean 0.18), and the latter was 0.57 ~ 0.79(mean 0.67).

6. A winch for hauling sea anchor of which maximum tension limit was 1 ton, was made considering its safe factor. The torque was 350kg·m and the hauling speed 18.20 rpm.

7. The One-drum type winch operates in normal condition without problems in mechanic, electric, and hydrodynamic pressure side. The winch made the labor force for hauling sea anchor reduce from 6~7 persons to 4 persons, the reducing effect of the labor force 33~43%. But an inefficient thing was found out, that is, we had to release a sinker which had been wound in the inner part of it before its next anchoring operation.

8. A designed Two-drum type winch was better than the One-drum type in control. The Two-drum type winch made the labor force reduce from 6~7 persons to 3 persons, the reducing effect of labor force 50% or more. It made the working period for hauling reduce from 20 minutes to 8 minutes, the reducing effect 60% of the working time.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	19
Section 1. Object and necessity of this study	19
Chapter 2. Condition of the existing sea anchor and sea anchor winch	21
Section 1. Squid jigging fishery in korea	21
Section 2. Condition of the sea anchor and sea anchor winch in korea ..	23
Section 3. Condition of the sea anchor and sea anchor winch in japan ..	31
Chapter 3. The hydrodynamic characteristics and development of the sea anchor	37
Section 1. Model experiments of sea anchor	37
1. Introduction	37
2. Materials and method	37
3. Results and discussions	43
Section 2. <i>In situ</i> experiments of sea anchor	49
1. Introduction	49
2. Materials and method	49
3. Results and discussions	55
Chapter 4. The mechanization of how to anchor and haul a sea anchor ..	59
Section 1. Introduction	59
Section 2. Conventional anchoring and hauling method	60
Section 3. Production and performance test of a sea anchor winch for a squid jigging boat of G/T 30 ton class	63

1. How to drive a sea anchor winch	63
2. Design of a sea anchor winch	63
3. Design and production of a trial sea anchor winch	68
4. Elementary performance test at sea	70
Section 4. Production and performance test of a sea anchor winch of	
Two-drum type	74
1. Design and production of a trial sea anchor winch of	
Two-drum type	74
2. Structure of a sea anchor winch of Two-drum type	78
3. Location of a Two-drum type sea anchor winch	79
4. Management of a Two-drum type sea anchor winch	83
5. Performance test of the winch at sea	85
Chapter 5. Conclusions	89
References	91

목 차

제 1 장 서 론	19
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	19
제 2 장 물돛 및 투양묘기 현황	21
제 1 절 우리나라의 오징어 채낚기 어업 현황	21
제 2 절 우리나라의 물돛 및 투양묘기 사용 현황	23
제 3 절 일본의 물돛 및 투양묘기 사용 현황	31
제 3 장 물돛의 유체역학적 특성 및 개량	37
제 1 절 물돛 모형실험	37
1. 서 론	37
2. 재료 및 방법	37
3. 실험결과 및 고찰	43
제 2 절 물돛 해상실험	49
1. 서 론	49
2. 재료 및 방법	49
3. 결과 및 고찰	55
제 4 장 투양묘 방법 기계화	59
제 1 절 서 론	59
제 2 절 기존의 투양묘 방법	60
제 3 절 30톤급 어선용 투양묘기 제작 및 성능시험	63
1. 투양묘기 구동방식의 결정	63

2. 투양묘기 설계	63
3. 투양묘기 시작품 설계·제작	68
4. 해상 기초시험	70
제 4 절 Two-drum형 투양묘기 제작 및 성능시험	74
1. Two-drum형 투양묘기 시작품 설계 및 제작	74
2. Two-drum형 투양묘기 각부 구성	78
3. 투양묘기 설치 위치 결정	79
4. Two-drum형 투양묘기 운용 방법	83
5. 해상 성능시험	85
제 5 장 결 언	89
참 고 문 헌	91

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라 연근해에서는 약 5천여척의 각종 채낚기 어선이 주로 동해, 남해 및 제주근해에서 조업을 하고 있으며, 오징어 채낚기 어선에 의한 오징어 어획량은 101천톤('95년)으로 연근해 어업 생산량의 7.1%를 점하고 있는 연근해 주요 어업종 하나이다. 최근 들어 어장의 환경오염과 남획 등에 의한 자원고갈 현상이 심화되고 있으나, 단년생인 오징어 생산량은 10만톤 이상을 유지하고 있으며, 활어로서도 인기가 높아지는 등 오징어 채낚기 어업의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

오징어 채낚기 어선의 주요 어로 장비로는 Sea anchor(물돛, 潮帆), 집어등, 조획기 등이 있다. 이 중에서 Sea anchor는 본래 어선의 해난방지용(海錨)으로 사용되고 있는 것으로서, 어선과 같은 소형선에서는 황천시 횡파를 받는 것이 가장 위험하므로 선수를 풍파쪽으로 향하게 하여 선체의 전복을 방지하기 위해 개발된 것이나, 오징어 채낚기 어선 등에서는 조업을 용이하게 하기 위하여 Sea anchor를 어업용으로 개량하여 사용하고 있다(金田, 1992). 따라서 본 보고서에서는 Sea anchor를 편의상 물돛으로 표기한다.

오징어 채낚기 어선에서 어군을 유집하는 집어등의 변천과정을 보면, 초기에는 햇불, 석유등에서 시작하여 백열등으로 발전되어 왔으며, 1980년대에 들어서는 방전등의 일종인 메탈할라이트등이 주류를 이루고 있고, 최근에는 입력 전압을 가변시켜 오징어를 효율적으로 집어·어획할 수 있는 방법도 개발 중에 있다. 또한 집어등의 성능에 관한 연구도 많이 발표(稻田·小倉, 1988; 長谷川·小林, 1989; 鈴木 等, 1985; 小創, 1983)되었다.

오징어의 어획에 사용되는 조획기는 과거에는 주로 수동 롤라가 사용되었으나 1960년대부터 자동조획기가 등장하여 기계화가 진행되었다. 초기의 기계식 자동조획기는 어획 효율이 수동 롤라에 비해 1/4~1/5 정도로 떨어지는 결점이 있

었으나, 전 조업시간대에 걸쳐 계속 사용이 가능하고, 또한 전자제어기술의 발달에 힘입어 지금은 숙련된 어부의 조획 기법을 내장한 인공지능형 원격집적제어방식을 활용하여 수십대의 조획기를 조타실에서 동시에 집중 제어할 수 있는 시스템의 도입 등으로 100톤급 이상의 대형선에서는 대부분 자동조획기를 사용하여 종래에 30명 이상의 조업인원이 최근에는 13명 이내로 줄어들게 되었고, 선원 인력난으로 연근해 소형선에도 점차 보급이 확대되고 있는 실정이다.

그러나 오징어 채낚기 조업시 어선이 조류의 흐름과 비슷한 속도로 흘러가게 하여 오징어 어군을 선저의 음영부에 오래 머물도록 하는 목적으로 사용되는 물뚝에 대해서는 野村 等(1967)이 연구한 것을 제외하고는 이에 관한 연구가 거의 없는 실정이다. 제작 방법도 어선의 크기와 바람, 조류 등의 역학적 관계를 충분히 고려하여 제작되었다기 보다는 일반 천막사에서 경험에 의존하여 제작되고 있어 표준 물뚝의 설계 및 제작 기술의 확보가 절실히 필요한 실정이다.

또한 30톤급 오징어 채낚기 어선인 경우, 승선인원은 수동조획시 10~16명, 자동조획기 설치시 6~7명이 승선하여 조업을 행하고 있으나, 최근 3D 기피현상의 가속화로 선원 인력 수급에 어려움을 겪고 있어 점차 자동조획기에 의한 조업으로 전환되어가는 추세이므로 물뚝 투양묘 작업에 필요한 인력을 절감하여 인력 수급난에 대처할 수 있도록 투양묘 방법의 기계화가 시급히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 오징어 채낚기 어업에 사용되는 물뚝의 구조 개량을 통하여 성능이 우수하고 사용이 간편한 물뚝의 개량과, 현재 30톤급 어선에서 6~7명 이상의 인력으로 투양묘 하고 있는 것을 인력을 절감하여 투양묘 할 수 있는 물뚝 투양묘기를 개발하고자 한다.

제 2 장 물돛 및 투양묘기 현황

제 1 절 우리나라 오징어 채낚기 어업 현황

1995년말 우리나라 연근해 어업의 어선세력은 51,357척 445,196톤이고, 이 중 채낚기 어선이 5,247척 56,485톤으로 10%를 점하고 있다(〈표 2-1〉, 농림수산부, 1996). 이를 연안과 근해어업으로 나누어 보면, 연안 채낚기 어선은 4,359척 13,329톤이며, 이 가운데 절반 이상이 1~5톤의 소형선이 차지하고 있고, 근해채 낚기 어선은 888척 43,156톤으로 20~50톤급이 40%, 50~100톤급이 27%를 차지하고 있다. 즉 우리나라 연근해 채낚기 어선의 대부분은 소형선이라는 것을 알 수 있다.

연근해 어업의 총어획량은 1,425,213톤인데, 이 중 채낚기에서 어획된 오징어가 101,112톤으로 총어획량의 7.1%에 달한다.

Table 2-1. Fishing fleet and the catch of coastal and off-shore fisheries(1995)

Kinds of fishing	Fishing fleet		Catch(M/T)	
	Number	Tonnage	Total	Squid
Coastal and off-shore fisheries	51,357	445,196	1,425,213	200,897
Angling	5,247	56,485	121,860	101,112
- Off-shore	888	43,156	93,856	81,966
- Coastal	4,359	13,329	28,004	19,146
Trawls	1,918	71,411	279,367	66,426
Purse seines	634	44,810	250,015	13,843
Gill nets	16,626	69,998	119,146	3,991
Traps	9,202	45,377	76,693	-

한편, 1991년부터 1996년까지 오징어 채낚기 어선에 의한 오징어 어획량의 변동은 <그림 2-1>과 같은데, 1991년의 어획량이 약 73천톤이던 것이 1993년에는 약 116천톤으로 급격히 증가하였으며, 그 이후로는 100천톤 이상을 유지하고 있다.

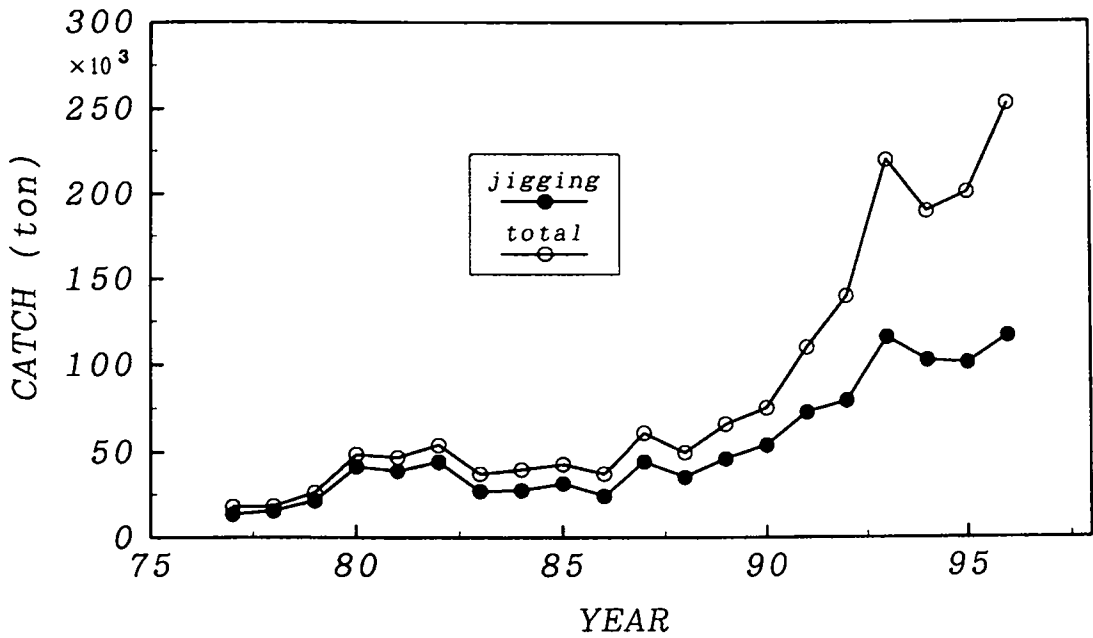


Fig. 2-1. Annual catch of squids in the coastal and off-shore jigging.

제 2 절 우리나라의 물돛 및 투양묘기 현황

오징어 채낚기 어선은 일몰전에 어장에 도착해서 일몰과 더불어 집어등을 켜고 (사진 2-1), 물돛을 투묘하여 선위를 안정시킨 다음 낚시를 내린다. 낚시는 수동식 롤라와 자동조획기(사진 2-2)를 주로 사용하는데, 최근에는 자동조획기를 많이 사용하는 추세이며, 새벽이 되어 일출경에 낚시를 올리고 물돛을 양묘하므로써 조업을 끝마치게 된다. 조업 중 어선은 가급적 조류의 흐름과 거의 같은 속도로 흘러가게 하여 어군이 선저의 음영부에 오랫동안 머물러 있도록 하여야 하며, 만일 바람 등 외력의 영향으로 선박이 급격하게 움직이게 되면 낚시가 선저의 음영부에 수직으로 드리워지지 못하므로 조획률이 떨어질 뿐만 아니라 낚시끼리 서로 얽혀서 조업에 지장을 가져오게 된다. 또한 해역과 시각에 따라 조류의 방향이 일정하지 않거나 표층과 물돛이 전개된 수심에서 유향이 다른 때에는 물돛이 제대로 기능을 발휘하지 못하는 경우도 있는데, 이런 경우에는 물돛을 양묘한 후 어장을 이동하여 다시 투묘하고 오징어를 집어하여야 하므로 그날의 조업에 큰 지장을 초래하게 된다. 따라서 물돛의 성능은 오징어 채낚기 어선의 어획 성패를 좌우하는 중요한 역할을 한다.

〈그림 2-2〉에 오징어 채낚기 어선의 개략적인 조업도를 나타내었다. 물돛의 형상은 낙하산과 유사한 모양으로 그 구조는 〈그림 2-3〉과 같이 사다리꼴 모양의 천을 조립 밴드로 여러 조각 연결하여 물돛 본체를 이루고 그 중앙에 물구멍이 있는 형태이며, 본체의 앞쪽에는 여러 가닥의 연줄을 내어 스위블과 연결한다. 또 이 스위블은 선수 비트에 고정된 배잡이줄과 연결되며, 물돛의 물구멍에는 침자와 부자줄, 그리고 양묘시에 사용되는 양묘줄이 연결된다.

물돛의 투묘 순서는 선수에서 먼저 침자와 물돛 본체를 물속에 투하하고, 이어서 부표와 부표줄, 연줄, 스위블, 배잡이줄 순으로 나가게 되며, 선수 옆쪽으로 양묘줄을 장력이 걸리지 않고 느슨하게 되도록 충분한 길이로 내어준다. 배잡이줄은 그날의 해황 조건에 따라 길이를 달리하여 내어준 후 선수 비트에 묶고 낚시를 내린다.

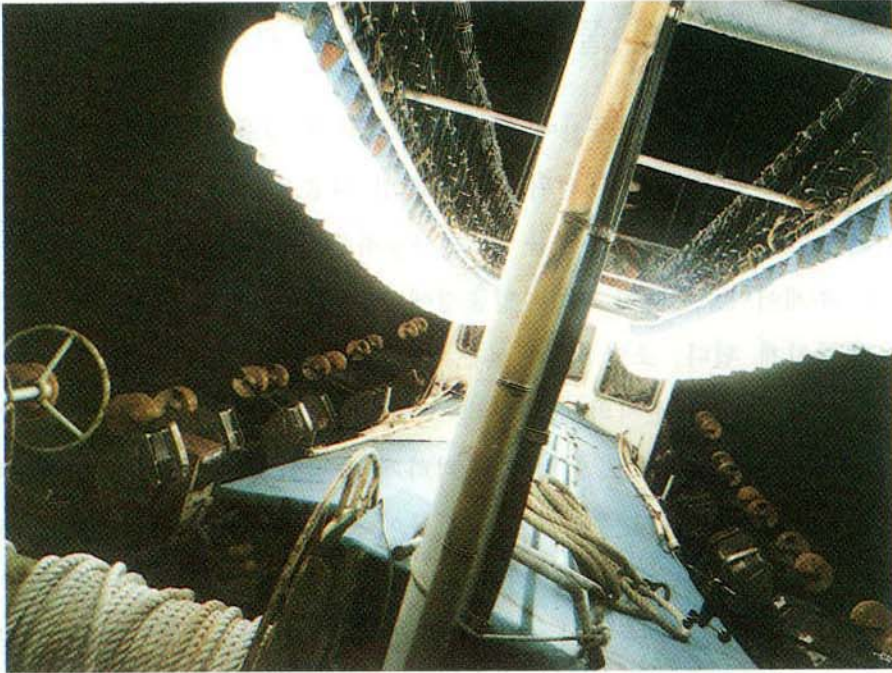


Photo. 2-1. Attracting lamp in a squid jigging boat.



Photo. 2-2. Squid jigging operation by automatic jigging machine.

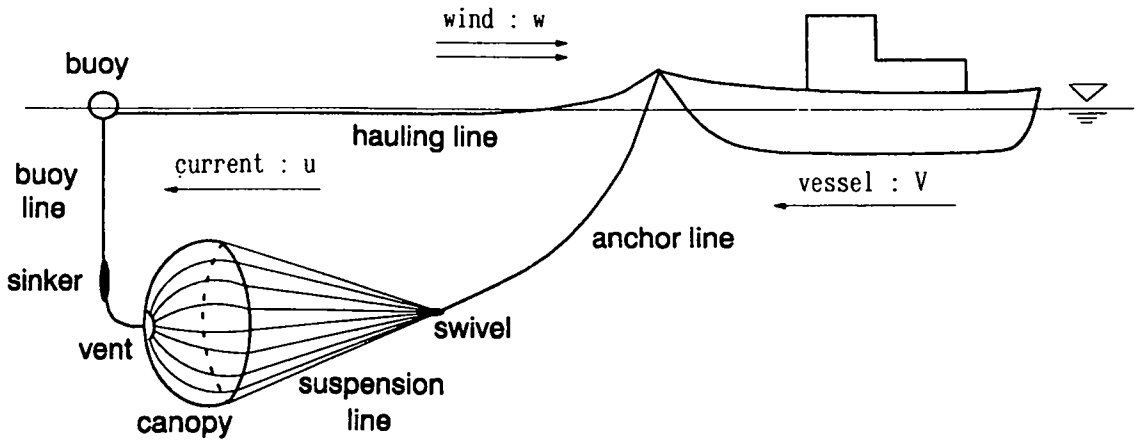


Fig. 2-2. Schematic view of sea anchor system.

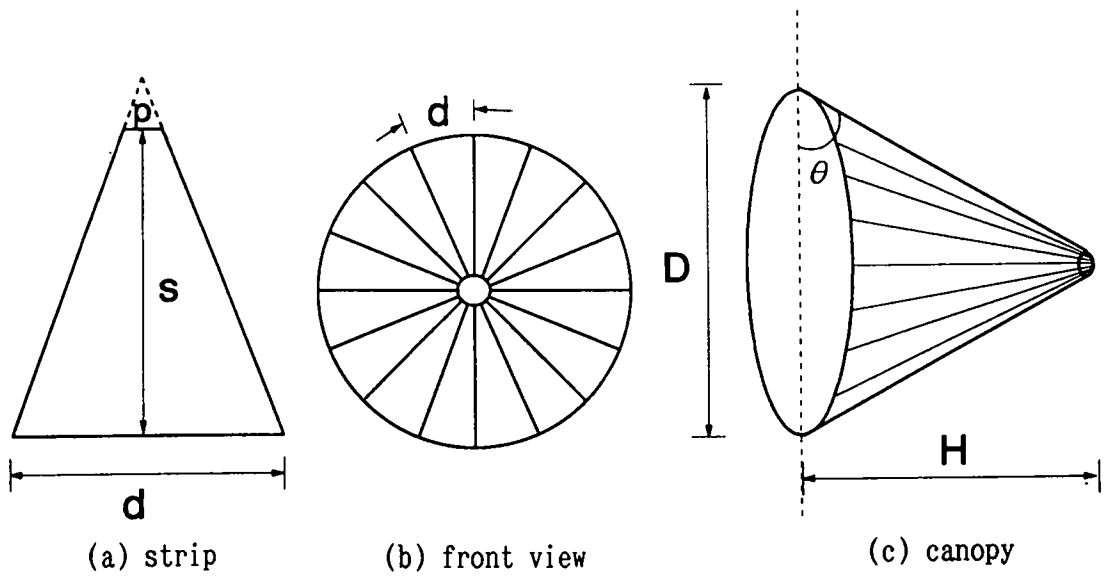


Fig. 2-3. Schematic diagram of the canopy of sea anchor.

D : diameter, H : hight

양묘시는 양묘줄을 당겨 물돛 본체가 접어지면서 뒤쪽부터 올라오도록 하는데, 부표와 부표줄, 침자가 선수로 올라오고 이어서 본체, 연줄, 스위블의 순으로 올라온다. 그리고 배잡이줄은 선박을 미속으로 전진하면서 장력이 걸리지 않는 상태로 서서히 잡아당긴다. 양묘기가 있는 경우는 대개 양묘줄에서 물돛 본체까지는 드럼에 감고 연줄과 배잡이줄은 선수 한쪽 옆에 사려두게 된다.

양묘가 끝난 후 다음 투묘를 위해 물돛 본체와 추는 다시 풀어서 선수 가이드 쪽에 쌓아두게 되며, 양묘기가 없는 경우는 사이드 롤라를 사용하여 물돛을 감아 올려 한쪽 현측에 다음 투묘를 위해 정리해 둔다(사진 2-3~2-6).

물돛의 구비조건으로는 다음 사항이 만족되어야 한다.

- 유수저항이 클 것
- 사용시 안정성이 높을 것
- 재료가 질길 것
- 물속에서 요동이 적을 것
- 투양묘에 적은 인력이 소요될 것
- 중량이 가벼울 것
- 격납과 운반이 편리할 것
- 흡수성이 적을 것
- 취급이 간편할 것
- 물빠짐이 좋을 것
- 비중이 적을 것

이 중에서 가장 중요한 조건은 유수저항이며, 유수저항이 커고 취급이 간편한 소형 물돛을 제작하기 위해서는 항력계수가 크고 안정성이 높아야 한다.

1995년 가을부터 1996년 봄까지 연근해 오징어 채낚기 어업의 주요 기지인 부산, 포항, 주문진항을 중심으로 오징어 채낚기 어선과 제작업체에 대한 실태조사를 실시하였다. 물돛은 대부분 어항 인근에 위치한 천막사에서 제작하고 있었으며, 부산의 경우, 남포동과 영도에 다수의 제작업체가 있었고, 그 외의 지역에서도 수 개의 제작업체가 있었다. 물돛을 제작하는 천막사의 규모는 대개 2~3명의 직공을 두고 재단과 박음질 등의 제작공정이 분업화되지 못한 상태로 작업을 하고 있었다. 실태조사 결과, 제작업체별로 제작공정에 다소 차이가 있는 부분도 있었으나, 각 업체에서는 제작 노하우(Know-how)로 생각하여 자료 공개를 꺼리고 있었으므로 본 연구에서는 제작 기법에 관한 부분은 제외하고 물돛의 형상별 전개성을 수조실험과 해상실험을 통해 구명해 나가는 것을 주로 다루었다.



Photo. 2-3. Sea anchor system ready for manual anchoring operation.



Photo. 2-4. Manual anchoring operation of sea anchor system in a squid jigging boat of 19ton.



Photo. 2-5. Manual anchoring operation of sea anchor system.

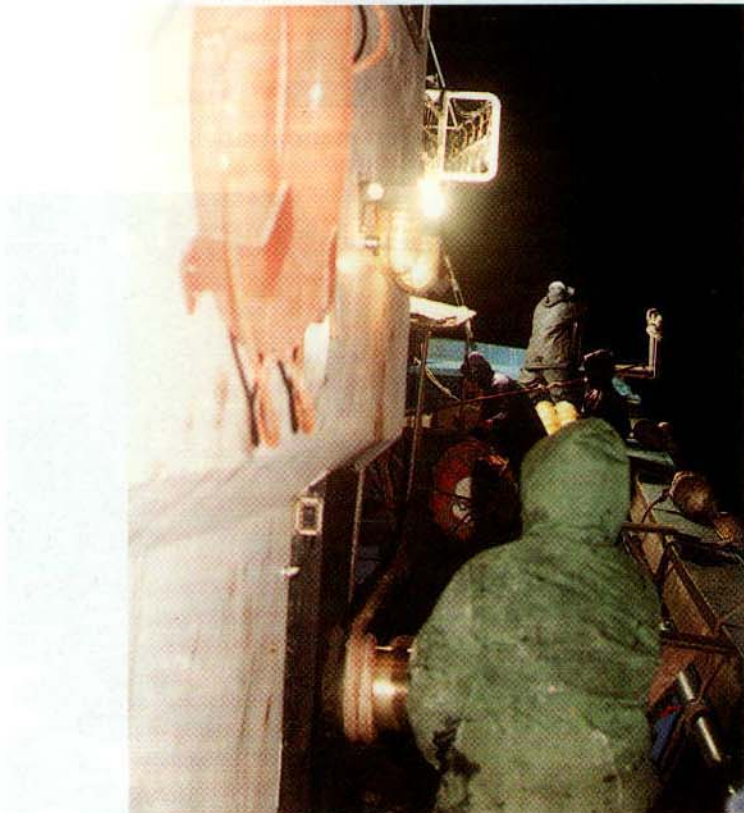


Photo. 2-6. Manual hauling operation of sea anchor system in a squid jigging boat of 29ton.

오징어 채낚기 어선의 물뚫 규모를 조사하면서 선박마다 규격이 다르고 제작사에서 톤급별 규모를 밝히기를 꺼려 조사에 어려움이 많았으나 대략적인 물뚫의 규모는 <표 2-2>와 같다. 30톤급 어선의 경우 물뚫 본체 직경이 26m에 달하며, 50톤급에서는 직경 33m 크기까지 사용하고 있는데, 그 규모는 차츰 대형화되고 있는 추세이다. 물뚫 투양묘 작업인원은 선박의 규모에 따라 차이가 있으며, 30톤급에서는 양묘작업에 6~7명이 소요되고, 100톤급에서는 11~15명이 필요하다.

Table 2-2. Size of sea anchor system in accordance with tonnage class of squid jigging boat.

G/T of boat	canopy		Length of suspension line (m)
	Diameter(m)	Length(m)	
10~20	13~23	10~12	30~40
20~30	23~27	12~14	40~65
30~50	23~33	13~15	50~60
50~70	27~34	14~16	50~70
70~100	29~36	14~17	60~70

물뚫과 원리가 비슷한 낙하산은 용도에 따라 탈출형, 스포츠형, 활주로 착륙형의 세가지가 있으며, 이 중 수직하강용인 탈출형의 경우 공기의 저항에 의해 낙하 속도를 적정 수준으로 유지하면서 공중에서 지상으로 안전하게 내려오는데 사용된다. 낙하산은 본체 범포의 크기와 공기 투과율 및 중량물의 하중에 따라 낙하속도가 결정되고 회전 및 동요방지 등의 안정성을 고려하여 본체 중앙과 측면에 공기 구멍이 있다. 본체 원호의 길이와 연줄의 길이는 대체적으로 1:1로 하며, 연줄 길이가 길수록 안정성은 높다고 한다.

물뚫을 양묘할 때 사용되는 양묘기는 본 연구 시작 초기인 1995년에는 연근해 채낚기 어선 중 100톤급 이상의 선박에서만 전용 양묘기를 사용하는 경우가 많았고, 그 이하의 소형선에서는 대개 사이드 드림을 사용하여 투·양묘하고 있었다.

양묘기는 유압식과 전동식의 두가지가 있는데, 유압식은 양묘속도 조절이 용이하고 안정성이 우수한 반면, 설치비가 고가이므로 선박에서 사용을 기피하고 있는 실정이었다. 전동식은 변속이 되지 않아 비상시 급제동이 되지 않고 안전사고와 누전 등의 위험부담은 있으나, 가격이 유압식의 절반 정도여서 상대적으로 많이 보급되어 있었다. 양묘기는 전동식의 경우 부산, 구룡포, 주문진 등 오징어 채낚기의 주요 어항에 있는 철공소에서 제작되고 있었고, 유압식은 주로 부산에 소재한 유압기기 제작사에서 제작되고 있었다. 실태조사 결과 50톤급 이하의 소형어선에서 편리하게 사용할 수 있는 유압식 투양묘기의 적정규모와 출력 등에 대한 연구가 필요한 것으로 나타났다.

본 연구에서 시험대상으로 하는 연근해 채낚기 어선의 톤급별 표준선형을 산출하기 위하여 선체 규모를 조사한 자료는 <표 2-3>과 같다. 연근해 채낚기 어선의 선질별 분포는 20톤 이하는 목선이, 그 이상은 FRP선이 많았는데, 표에서는 FRP선과 강선을 위주로 기록하였다. 이 톤급별 표준선형은 앞으로 선박 톤급별 물뿔과 투양묘기의 적정 규모 산출에 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

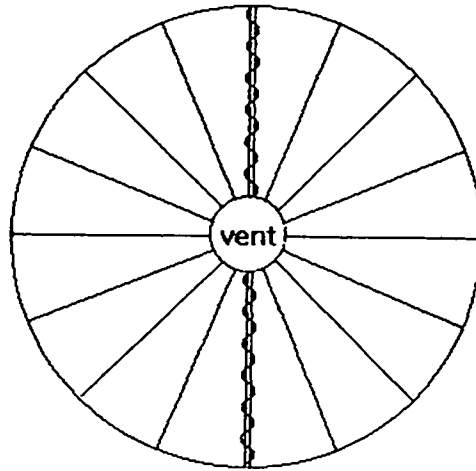
Table 2-3. Dimension of squid jigging boats.

G/T	Type of construction material	Dimension(m)		
		Length on load water line	Breadth	Depth
10.00	F R P	13.90	4.40	1.03
21.00	"	20.20	5.49	1.45
29.00	"	20.10	4.80	1.98
39.00	"	21.20	5.30	2.24
48.00	"	21.75	5.37	2.15
69.00	"	27.08	5.86	2.48
69.00	Steel	29.00	5.90	2.80
79.00	"	29.00	5.70	2.60
85.00	"	29.00	5.90	2.80
99.00	F R P	29.30	6.20	2.85

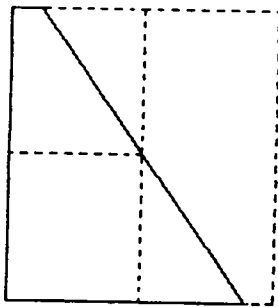
제 3 절 일본의 물돛 및 투양묘기 사용 현황

일본에서는 1960년대까지 여러 형태의 황천용 물돛을 어업용으로 사용해 오다가 1967년 野村 等の 어업용 물돛의 적정 구조에 관한 연구가 행해진 이후부터 현재의 형태인 Para anchor가 본격적으로 사용되고 있다. 대표적인 제조업체로는 북해도의 사토제범강구(佐勝製帆綱具), 동북지방의 노관산업(野館産業), 동경지방의 닛또 등이 있는데, 이들 3개사가 수요의 60% 이상을 점유하고 있다고 한다. 사토제범은 오징어 자동조획기 제작사인 Hamade의 시험선을 이용하여 지속적인 조사·개량을 진행하고 있으며, 다른 업체들은 선장들의 설문조사를 통하여 제품을 개량해 가고 있었다. 일본 물돛의 본체에 사용하는 천은 Nylon 420Td를 기본으로 하고 찢어지는 것을 방지하기 위해 일정 간격마다 840Td의 격자를 넣은 것을 사용하고 있으며, 천의 폭이 110cm인 원통형 천을 토요레이온회사(トヨレ-オン)에서 특수제작하고 있었다. 천의 재단방법은 <그림 2-4>와 같이 원통형 천의 상하면의 좌우 한쪽변이 4cm 남도록 대각선으로 절단하여 두폭을 만들며, 1폭의 아랫변의 길이는 210cm로, 우리나라의 120cm에 비해 2배 정도 길다. 이것을 해당폭수만큼 잇대어 봉합하여 본체가 완성된다. 물구멍의 크기는 폭수에 따라 결정되는데, 물구멍의 크기가 클수록 안정성은 높은 반면 유체저항이 적어지고, 크기가 작은 경우에는 본체에서 물이 역류되어 물돛의 성능이 저하되므로 조류의 세기에 따라 물구멍의 크기를 조절할 수 있도록 되어 있다. 연줄은 각 폭의 중앙부에 연결하여 본체 천의 경사 방향과 힘의 전달이 일치되도록 하였는데, 이것은 각 폭의 가장자리에 연줄을 연결하는 우리나라의 물돛과 가장 큰 차이점 중 하나이다.

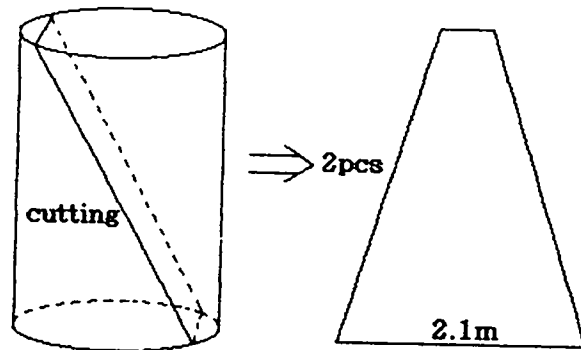
또한 물돛의 제작에 있어서는 본체 재단에서부터 연줄 연결까지 공정별로 분업화되어 있었으며, 전체 작업인원은 12~15명이었다(사진 2-7, 2-8). 그리고 물돛의 내구연수는 대개 15년 이상으로 어선의 수명과 거의 같다고 한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2-4. Cutting method of canvas for a canopy strip.
 (a) view of the canopy from the mouth
 (b) Single cloth cutting used in Korea
 (c) Round cloth cutting used in Japan

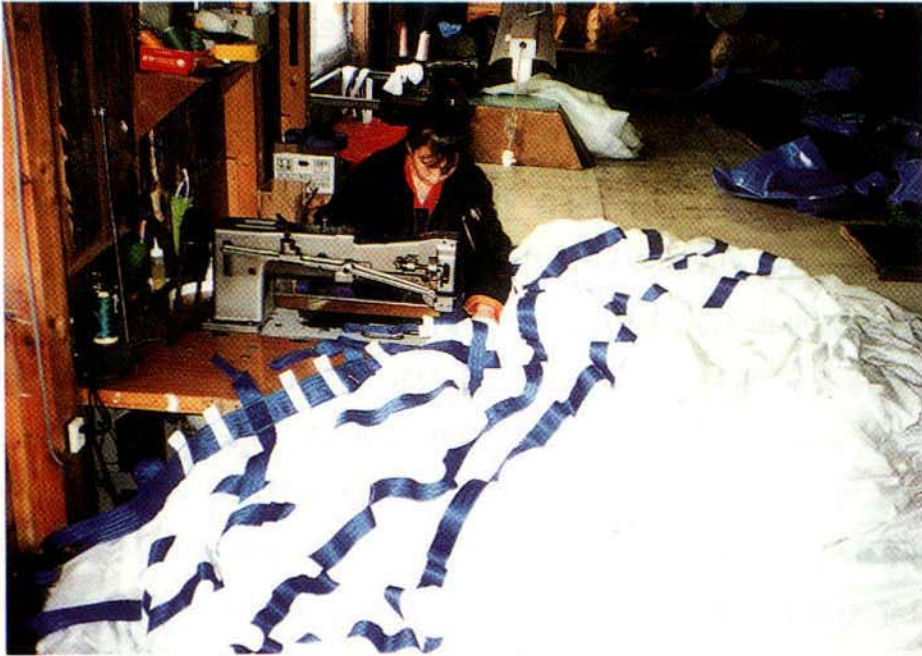


Photo. 2-7. Sea anchor workshop with division of labour in japan.



Photo. 2-8. Vent part of sea anchor.

100톤급 이상 대형 물뚝의 경우는 본체를 4조각으로 만들어 로프로 봉합하여 사용하는데 해황조건에 따라 유수저항이 큰 경우는 봉합부의 간격을 넓히고, 유수 저항이 적은 경우에는 봉합부 간격을 좁혀서 본체가 받아들이는 유체저항을 조절하고 있었다. 본체가 유수저항을 받아 설계직경의 60~70% 이상 전개되었을 때 적정하게 전개된 것으로 본다고 한다.

일본의 물뚝 양묘기는 70년대까지는 전동식이 주종을 이루었으나 양묘기 사용으로 인한 물뚝의 파손이 심하고, 회전 및 양묘 속도의 조정이 어려우며, 숙련된 조작기술이 필요하므로 현재는 90% 이상이 유압식을 사용하고 있다(사진 2-9, 2-10). 양묘기는 트롤원치를 모방하여 개량 및 발전된 것으로, 제작원리는 트롤원치의 경우와 동일하며, 제작·시판되고 있는 양묘기는 실제 조업상황에서 적응시험을 거쳐 안정성을 확인한 후 설치되고 있다. 19톤급 어선의 경우 양묘기 사용으로 선장을 포함해 2명으로 충분히 조업이 가능하고, 200톤급 어선에서도 양묘작업을 2명이 하며 소요시간은 20분 정도이다.



Photo. 2-9. Hauling machine of sea anchor system with single side drum in Japan.



Photo. 2-10. Hauling machine of sea anchor system with twine drum in Japan.

여 백

제 3 장 물돛의 유체역학적 특성 및 개량

제 1 절 물돛 모형실험

1. 서 론

물돛은 조업 중 선체를 조류의 흐름과 거의 같은 속도로 흘러가게 하는 역할을 하므로 항력계수가 클수록 좋다. 따라서 물돛의 형상은 항력계수가 큰 것을 채택하는 것이 유리하다.

현재 오징어 채낚기 어선에 사용되고 있는 물돛의 형상을 조사해 보면 제작회사에 따라 다소 차이는 있으나 그 대부분이 물돛 본체의 입구면과 측면이 이루는 각도가 약 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 인 원추형이며, 소형 천막사 등에서 경험적으로 만들고 있으므로 이들 물돛의 유체력 특성 및 안정성 등은 거의 미지이다. 또한 설계직경이 매우 크고, 부피가 커서 해상에서 취급이 불편하다.

본 연구에서는 최적 형상의 물돛을 도출하기 위하여 여러 형상의 모형 물돛을 설계 제작한 다음, 회류수조에서 물돛의 각 형상별 유체력 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용한 모형은 직경이 30cm로 일정한 원추형 6종류 및 반구형 4종류로서 나일론 천을 사용하여 제작하였다. 원추형 및 반구형 모형의 재단방법 및 제작도는 각각 <그림 3-1> 및 <그림 3-2>에, 형상별 치수는 각각 <표 3-1> 및 <표 3-2>에 나타내었다.

본 연구에 사용한 6종류의 원추형 모형은 본체의 측면 각도 변화에 따른 항력계수를 조사하기 위하여 <표 3-1>에 나타낸 것과 같이 입구면에 대한 측면의 각도가 각각 0° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° 가 되도록 제작하였다. 반구형 모형의 경우는 완전한 반구형이 되기 위해서는 각 strip의 종방향 재단을 곡선으로 하여야 되겠으나, 실용화 보급시 재단상의 편의를 위하여 <그림 3-1> 및 <표 3-2>에 나타

낸 것과 같이 3등분 또는 2등분으로 나누어 직선 재단하여 완성시켰다. 그리고 천의 재질의 차이에 따른 항력계수의 차이를 조사하기 위하여 <표 3-2>에 나타난 반구형 H~J 모형은 일반 나일론천(투수계수 $1.06 \times 10^{-3} \text{cm/s}$), K는 방수 나일론천(투수계수 $9.31 \times 10^{-7} \text{cm/s}$)으로 제작하였다.

각 모형의 배수구 직경은 각각 1, 2, 3cm로 변화시켰다. 연줄의 길이는 물뿔 직경의 1.5배(45cm) 및 2배(60cm)로 하였다.

모형 실험은 일본 東京水産大學의 대형회류수조(관측창 길이 6m, 폭 1.45m, 상용수심 1.2m)에서 행하였으며, <그림 3-3>에 모형실험의 개략도를 나타내었다. 본 실험에 있어서 모형의 유체력은 6분력천평(電子工業株式會社, A-2684)을 사용하여 계측하였고, 모형 주위의 흐름의 가시화는 수소기포발생법을 사용하여 수조 흐름의 모습을 카메라로 촬영하였다. 모형의 항력을 계측할 경우에는 모형의 상하 및 좌우 진동을 방지하기 위하여 L자형 축을 모형의 배수구에 삽입시킨 다음, 유속계(KENEK, VO-101A & VOT2 -200-20)로부터의 유속 및 6분력천평으로 측정된 각축방향의 힘(F_x, F_y, F_z)과 모멘트(M_x, M_y, M_z)를 컴퓨터에 입력하고, 그 평균치를 구하였다. 실험시 수온은 $23 \sim 24^\circ\text{C}$ 였다.

<사진 3-1>은 모형의 유체력을 측정하는 모습을 촬영한 사진이다.

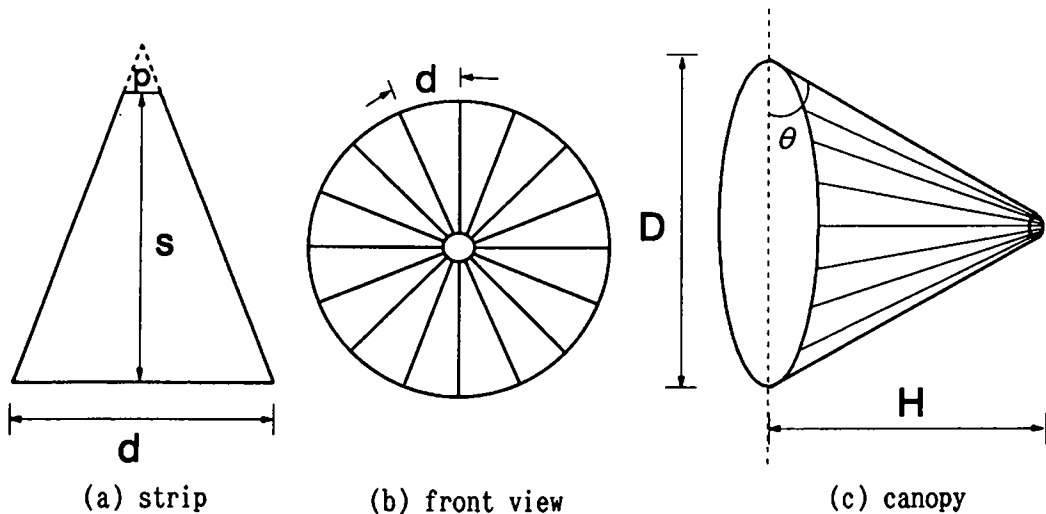


Fig. 3-1. Schematic diagram of the canopy of Cone type sea anchor.

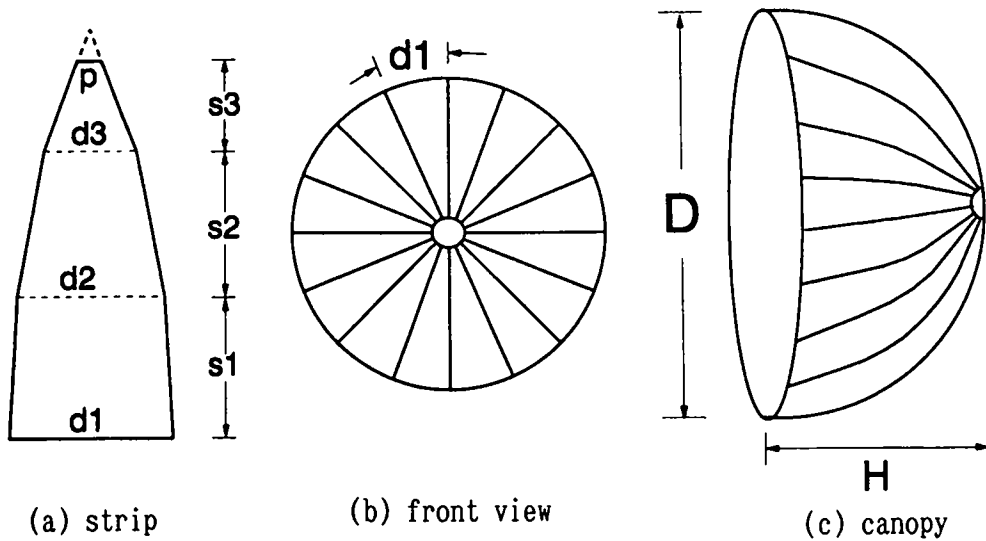


Fig. 3-2. Schematic diagram of the canopy of Semi-sphere type sea anchor.

Table 3-1. Dimension of the Cone type canopy of the sea anchor

Type	Dimension(cm)						
	θ ($^{\circ}$)	DM(D)	DV(e)	No. of Strip	Length(s)	Base(d)	Topside(p)
A	0	30	1, 2, 3	16	14.2, 13.7, 13.2	5.9	0.2, 0.4, 0.6
B	20	30	1, 2, 3	16	15.2, 14.6, 14.1	5.9	0.2, 0.4, 0.6
C	30	30	1, 2, 3	16	16.5, 15.9, 15.4	5.9	0.2, 0.4, 0.6
D	40	30	1, 2, 3	16	18.7, 18.1, 17.4	5.9	0.2, 0.4, 0.6
E	50	30	1, 2, 3	16	22.4, 21.6, 20.8	5.9	0.2, 0.4, 0.6
F	60	30	1, 2, 3	16	28.9, 27.7, 26.9	5.9	0.2, 0.4, 0.6

* DM(D) : Diameter at the mouth of the canopy

* DV(e) : Diameter at the vent of the canopy

Table 3-2. Dimension of the Semi-sphere type canopy of the sea anchor

Type	Dimension(cm)					
	DM(D)	DV(e)	No. of Strip	Length(s1,s2,s3)	Base(d)	Topside(p)
H	30	1, 2, 3	16	7.85, 7.85, 7.85	5.9, 5.1, 3.0	0.2, 0.4, 0.6
I	30	1, 2, 3	16	11.8, - , 11.8	5.9, - , 5.9	0.2, 0.4, 0.6
J	30	1, 2, 3	16	11.8, - , 11.8	5.9, - , 4.2	0.2, 0.4, 0.6
K	30	1, 2, 3	16	7.85, 7.85, 7.85	5.9, 5.1, 3.0	0.2, 0.4, 0.6

- * DM(D) : Diameter at the mouth of the canopy
- * DV(e) : Diameter at the vent of the canopy
- * H~J : Nylon canvas(Coefficient of water permeability : $1.06 \times 10^{-3} \text{cm/s}$)
- * K : Watertight nylon canvas(Coefficient of water permeability : $9.31 \times 10^{-7} \text{cm/s}$)

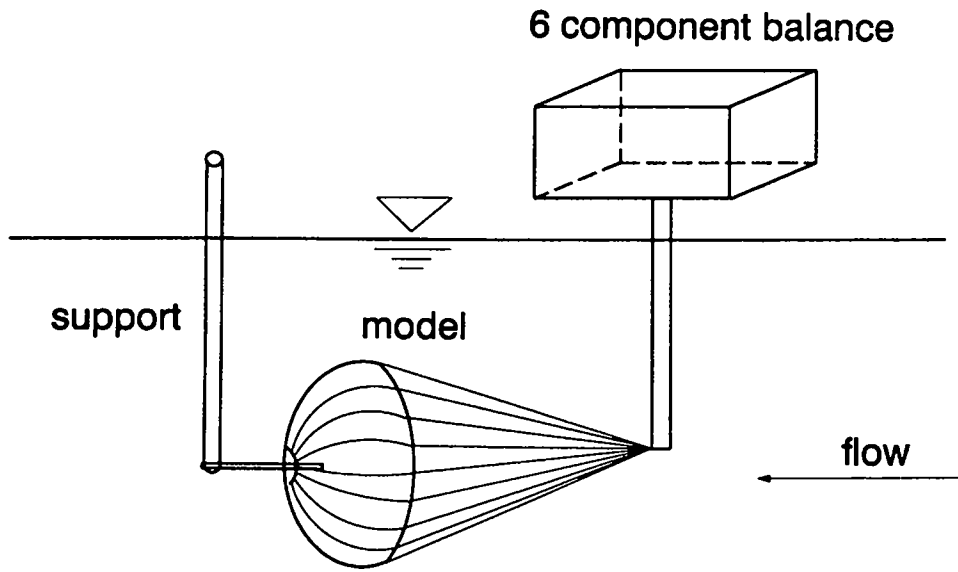
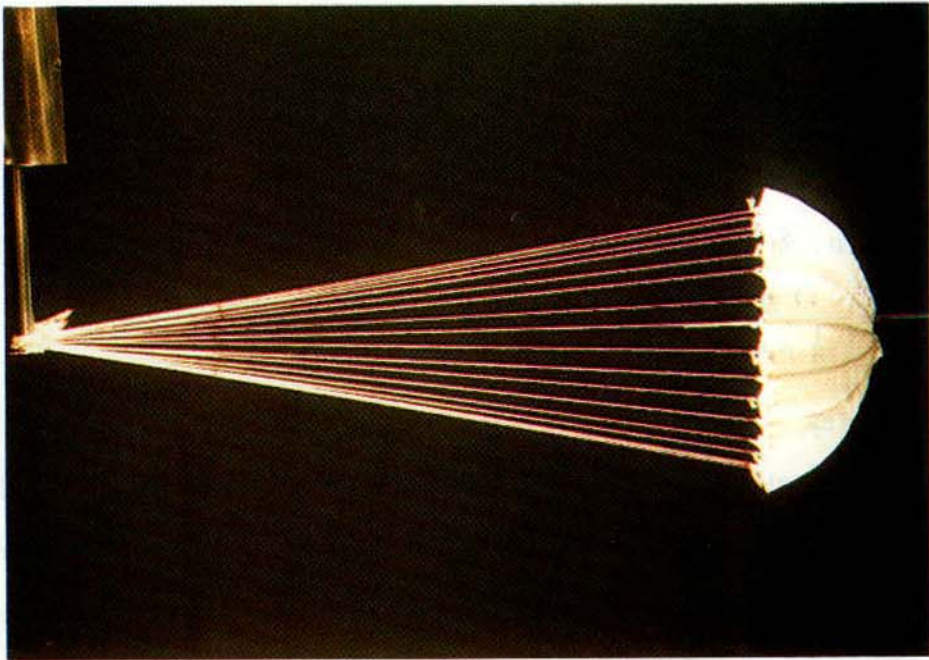
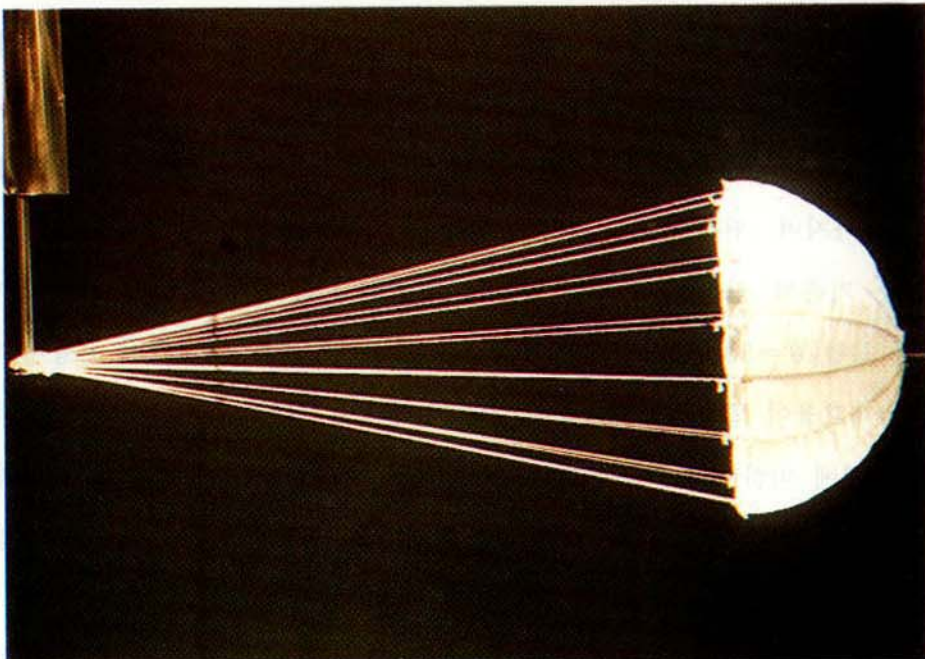


Fig. 3-3. Model experiment for measurement for measuring hydrodynamic force of the sea anchor in a circulating water tank.



(a) Cone type (C, $u=30\text{cm/s}$)



(b) Semi-sphere type (H, $u=30\text{cm/s}$)

Photo. 3-1. View of the model experiment.

3. 실험결과 및 고찰

1) 모형의 항력계수

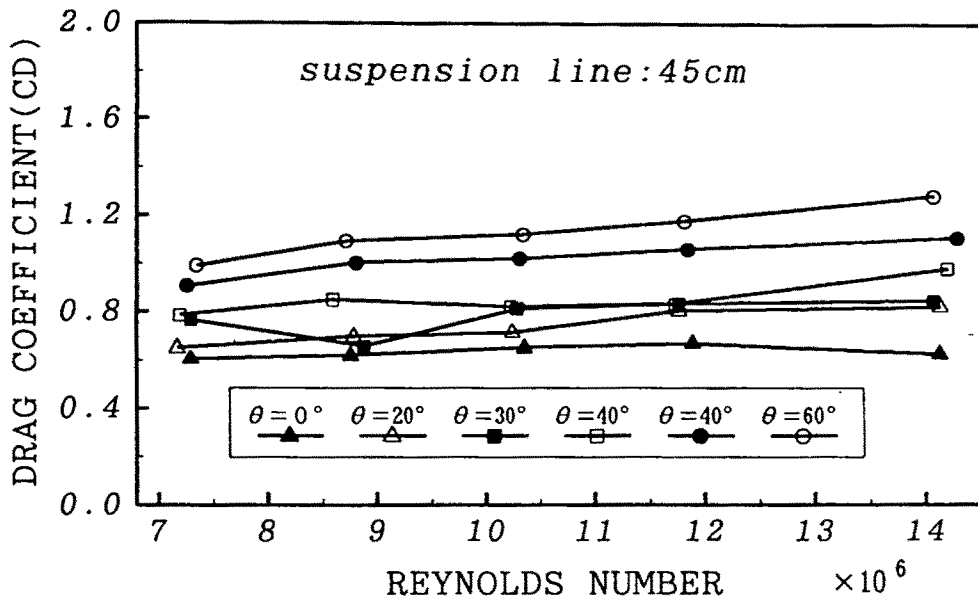
본 실험에 사용한 모형의 항력계수(C_D)는 모형의 항력을 D , 설계면적을 A , 물의 밀도를 ρ , 유속을 u 라고 하면,

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho A u^2} \dots\dots\dots (3-1)$$

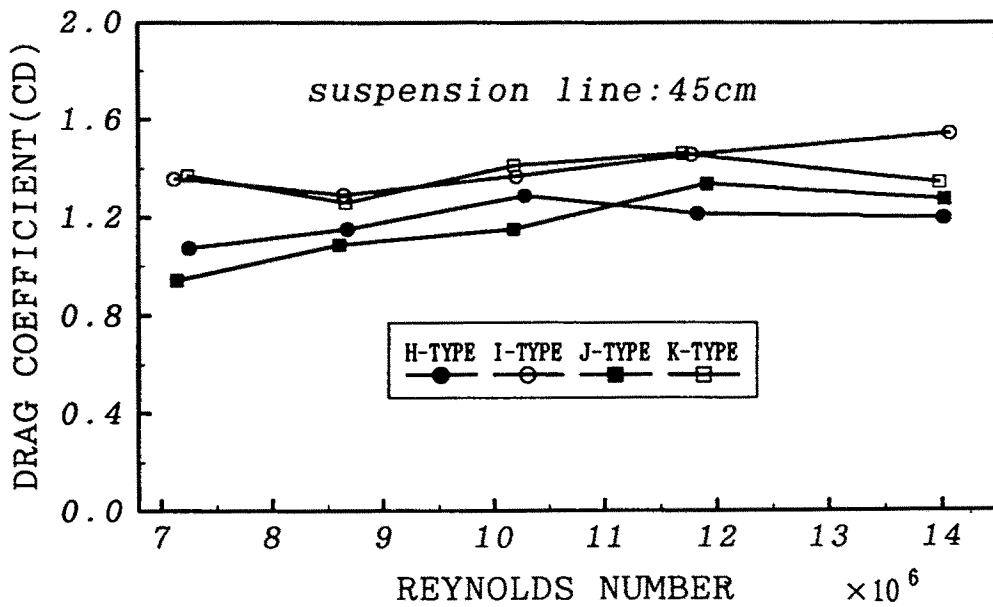
으로 구하였다.

연줄 길이가 각각 45cm 및 60cm인 원추형과 반구형 모형의 Reynolds수에 대한 항력계수를 각각 <그림 3-4> 및 <그림 3-5>에 나타내었다. 그림으로부터 Reynolds수의 변화에 따른 모형의 항력계수의 변화는 적은 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실험 유속범위(20cm/sec~40cm/sec)내의 항력계수의 평균치를 구하여 각 모형의 항력계수로서 나타내었다.

연줄 길이 45cm인 각종 모형의 항력계수의 평균치를 <표 3-3>에, 연줄길이 60cm인 모형의 항력계수의 평균치를 <표 3-4>에 나타내었다. <표 3-3> 및 <표 3-4>로부터 원추형 물뚝의 경우는 모형의 입구면과 측면이 이루는 각 θ 가 커질수록 항력계수가 높아지며, 원추형에 비해서는 반구형의 항력계수가 더 높다는 것을 알 수 있다. 즉 기존의 원추형 물뚝과 형상이 비슷한 C형($\theta = 30^\circ$)의 항력계수($C_D = 0.83$)와 E형($\theta = 50^\circ$)의 항력계수($C_D = 1.08$)를 비교하면, E형이 C형에 비하여 1.3배 전개효율이 좋으며, C형($\theta = 30^\circ$)과 반구형 H형($C_D = 1.34$)을 비교하면 반구형이 C형에 비하여 1.6배 전개효율이 좋다는 것을 알 수 있다. 또 반구형 모형의 종류별 항력계수를 비교해 보면, 3단 재단한 기본형인 H형에 비하여 모형의 표면적이 큰 2단 재단한 J형 및 I형의 항력계수가 약간 더 높고, 재단방법은 H형과 같으나 방수천을 사용한 K형의 항력계수가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

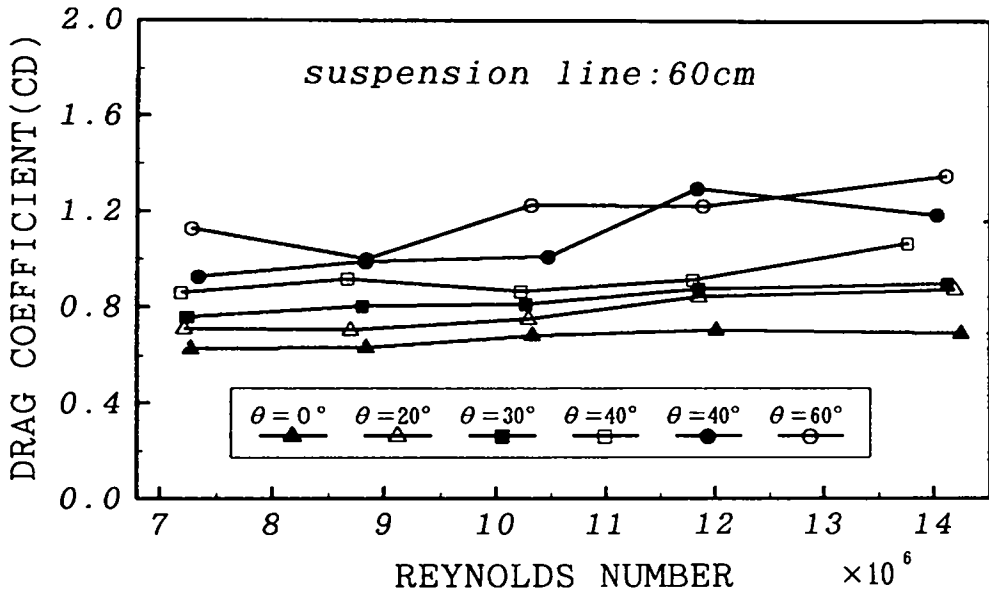


(a) Cone type model

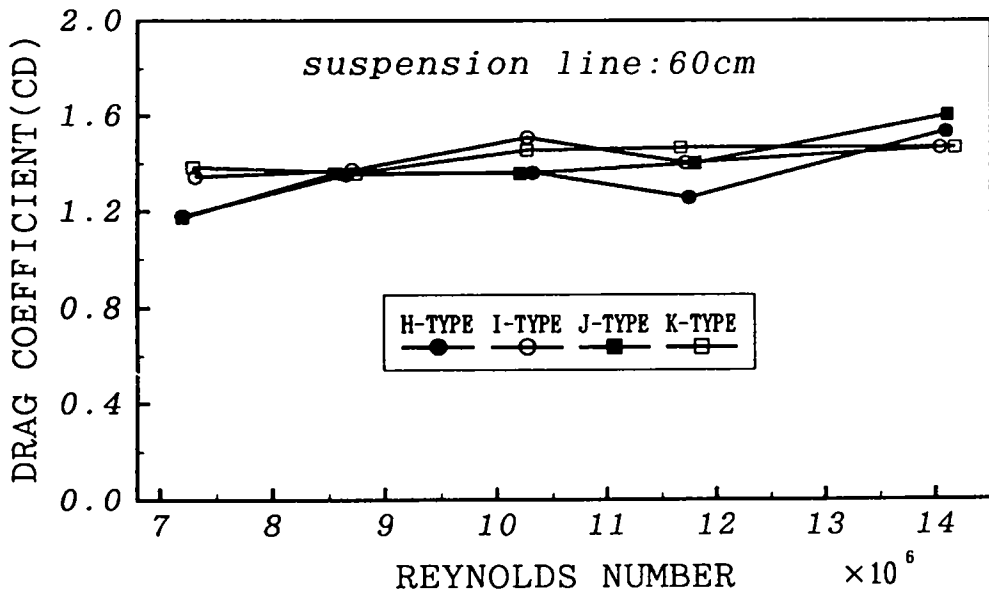


(b) Semi-sphere type model

Fig. 3-4. Relationship between the Reynolds number and the drag coefficients of model.



(a) Cone type model



(b) Semi-sphere type model

Fig. 3-5. Relationship between the Reynolds number and the drag coefficients of model.

각 모형의 연줄길이의 변화에 따른 항력계수를 비교해 보면, 연줄의 길이가 직경의 1.5배(45cm)인 경우에 비하여 연줄의 길이가 직경의 2배(60cm)인 경우가 약간 더 높다. 배수구의 직경변화에 따른 각 모형의 항력계수를 보면, 배수구의 직경이 클수록 항력계수가 약간 증가하는 경향을 나타낸다.

이와 같은 결과로부터 물뚫의 형상은 원추형의 경우에는 각도 θ 를 크게 하는 것이 항력계수가 커지므로 유리하고, 원추형보다는 반구형으로 제작하는 것이 좋다는 것을 알 수 있다. 또 연줄의 길이는 현재 상업선에서 사용되고 있는 것과 같이 물뚫 직경의 2배 정도로 제작하는 것이 좋다고 생각된다. 배수구 직경은 현재 상업선에서는 입구직경의 약 5% 정도이나 10% 정도까지 크게 하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

Table 3-3. Mean value of Drag Coefficients in accordance with the shape of model sea anchor (Length of suspension line : 45cm)

Type	Drag coefficient(C_D)		
	Diameter of vent = 1cm	Diameter of vent = 2cm	Diameter of vent = 3cm
A	0.64	0.71	0.72
B	0.74	0.74	0.85
C	0.78	0.83	0.85
D	0.85	0.89	1.01
E	1.02	1.11	1.15
F	1.13	1.18	1.31
H	1.19	1.38	1.40
I	1.40	1.48	1.49
J	1.22	1.33	1.32
K	1.37	1.32	1.50

Table 3-4. Mean value of Drag Coefficients in accordance with the shape of model sea anchor (Length of suspension line : 60cm)

Type	Drag coefficient(C_D)		
	Diameter of vent = 1cm	Diameter of vent = 2cm	Diameter of vent = 3cm
A	0.67	0.70	0.71
B	0.78	0.74	0.85
C	0.83	0.83	0.84
D	0.92	0.97	1.00
E	1.08	1.08	1.21
F	1.19	1.29	1.34
H	1.34	1.31	1.51
I	1.42	1.48	1.64
J	1.38	1.38	1.38
K	1.43	1.57	1.64

2) 물뚝의 전개직경

연줄길이 60cm 경우의 유속의 변화에 따른 각 모형의 설계직경(D)에 대한 실제 수중전개직경(Dr)의 비를 사진 판독하여 <표 3-5>에 나타내었다. <표 3-5>로부터 원추형(A~F)의 수중전개직경은 각도 θ 가 클수록 커지며, 반구형의 수중전개직경은 93% 이상의 높은 값을 유지한다는 것을 알 수 있다. 또한 배수구 직경 및 유속의 변화에 따른 수중전개직경의 변화는 적다.

이와 같은 결과는 모형의 저항계수와 수중전개직경이 밀접한 관계가 있다는 것을 설명해 준다. 즉 모형의 항력계수는 모형의 수중전개직경과 밀접한 관계가 있으며, 수중전개직경이 클수록 모형의 투영면적이 커지며 항력도 커진다는 것을 알 수 있다.

Table 3-5. Rate of the calculated diameter(D_r) to designed diameter(D) of model sea anchors (Length of suspension line : 60cm)

Type	Rate(%)				
	V = 20cm/sec			V = 30cm/sec	
	Diameter of vent = 1cm	Diameter of vent = 2cm	Diameter of vent = 3cm	Diameter of vent = 2cm	Diameter of vent = 3cm
A	76.6	77.0	76.2	-	75.5
B	78.6	80.3	80.4	-	78.3
C	80.3	83.6	85.3	-	85.1
D	82.5	83.8	86.5	82.6	86.5
E	89.3	87.1	89.9	-	88.6
F	93.9	92.5	90.1	-	91.3
H	95.1	97.2	94.1	95.6	94.1
I	98.8	95.4	93.2	95.7	92.7
J	-	94.1	93.6	94.7	93.6
K	97.2	99.3	98.9	95.7	95.7

3) 모형 주위의 흐름의 가시화

흐름의 가시화 기법으로 물뚝 주위의 흐름 변화를 파악하면, 물뚝의 유체특성과 흐름과의 관계를 구명할 수 있으므로 새로운 물뚝의 연구개발에 많은 도움이 된다.

본 연구에서는 반구형 물뚝 주위의 흐름을 수소기포발생법으로 가시화하였다. 가시화에 사용한 음극선으로는 직경 0.1mm의 텅스텐 선을 사용하였다.

사진 3-2에 반구형 물뚝(H형, 배수구 직경 1cm) 모형 주위의 흐름을 나타내었다. 사진으로부터 알 수 있는 바와 같이 물뚝 전방에서 흘러오는 흐름의 대부분은 물뚝의 외측으로 흘러 나가 물뚝 배후에는 큰 후류역(wake)이 발달하고, 물뚝 측면에서는 나선형의 와가 비주기적으로 생성된다.

이와 같은 결과로부터 물뚝의 배수구로 빠져나가는 물의 양은 매우 적으며, 물뚝의 전면과 후면 사이의 압력 차이는 매우 크고, 측면에서 발생하는 와에 의하여 물뚝은 좌우 또는 상하로 진동하게 된다는 것을 알 수 있다.



(a) Semi-sphere type (H type, $u=30\text{cm/s}$)



(b) Semi-sphere type (H type, $u=30\text{cm/s}$)

Photo. 3-2. Flow visualization around the semi-sphere type model.

제 2 절 물뚝 해상시험

1. 서 론

오징어 채낚기 어선에 사용되는 물뚝은 우수저항체로 사용되므로 가장 중요한 성능은 항력계수가 커야 하고, 안정성이 좋으며, 동요가 적어야 할 뿐 아니라 조획기를 여러 대 사용하여 낚시를 드리웠을 때 가급적 수직으로 내려가서 낚시끼리 엉키는 어구 사고가 적어야 한다. 또한 물뚝을 구성하는 재료는 질기고 가벼우며, 흡수성이 적고, 취급이 용이해야 한다.

본 연구에서는 주로 물뚝의 형상별 항력계수 및 수중전개면적 등을 구하기 위하여 해상에서 시험조업을 행하고, 물뚝의 유체특성을 비교·분석하였다.

2. 재료 및 방법

1) 물뚝에 작용하는 유체력

〈그림 3-6〉에 조업중인 오징어 채낚기 어선의 모식도를 나타내었다. 조업중인 오징어 채낚기 어선에는 그림과 같이 조류와 바람에 의한 유체력이 작용하며 조류 및 선박(물뚝), 바람의 속도를 각각 u 및 V, w 라 하고, 물뚝의 항력을 R_p , 선체의 우수저항 및 공기(풍압)저항을 각각 R_s 및 R_w 라고 하면, 채낚기 어선에 작용하는 x방향의 힘의 총합 $\sum F_x$ 는

$$\sum F_x = R_p + R_s - R_u \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

가 된다.

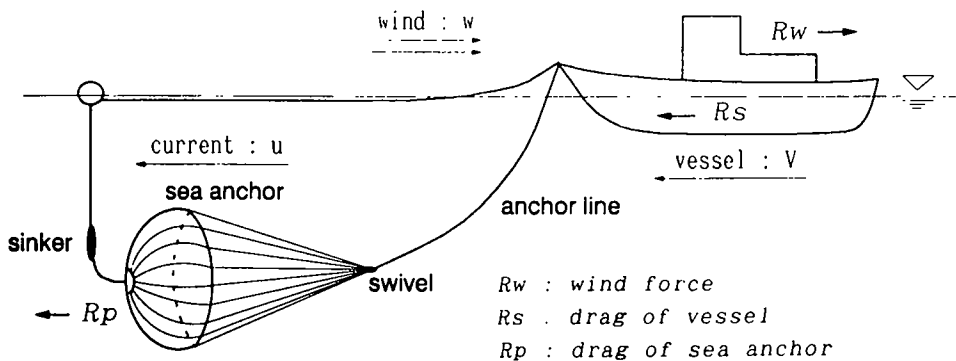


Fig. 3-6. Schematic diagram of the hydrodynamic forces on the squid jigging fishery.

여기서 물뚝의 항력계수를 C_D , 설계면적을 A , 해수의 밀도를 ρ 라 하면 물뚝에 작용하는 항력 R_D 는

$$R_D = \frac{1}{2} C_D \rho A (u-V) |u-V| \dots\dots\dots (3-3)$$

가 된다.

또 오징어 채낚기 어선에 작용하는 모든 외력이 평형을 이루고 있다면, 정적으로 안정되어 있으므로 (3-2)식은

$$\sum F_x = R_D + R_s - R_w = 0 \dots\dots\dots (3-4)$$

가 된다.

본 연구에서는 형상별 물뚝의 항력계수를 구하기 위하여 선수에서 장력계(대성 DS1260) 및 경각계를 사용하여 각각 선수 앞쪽 배잡이줄(anchor line)에 작용하는 장력(T)과 경각(α)을 측정하였고, 선측에서 유향유속계(Valeport, BFM008MK III)를 사용하여 상대 유속($u-V$)을 측정하였다.

〈사진 3-3〉은 본연구에 사용한 오징어 채낚기 어선(길양호 29톤)의 모습이다. 또, 선상에서 물뚝의 장력 및 풍향풍속, 유속의 측정 모습을 〈사진 3-4, 3-5, 3-6〉에 나타내었다.



Photo. 3-3. Commerical squid jigging boat 95 Gillyang-Ho(29ton) used for the experiment.



Photo 3-2. Wind and wave monitor system

(a) Load cell



(b) Data acquisition system

Photo. 3-4. Load cell attached at the sea anchor line(a) and indicator of tension observation system(b).



Photo. 3-5. Wind speed and direction monitor system.

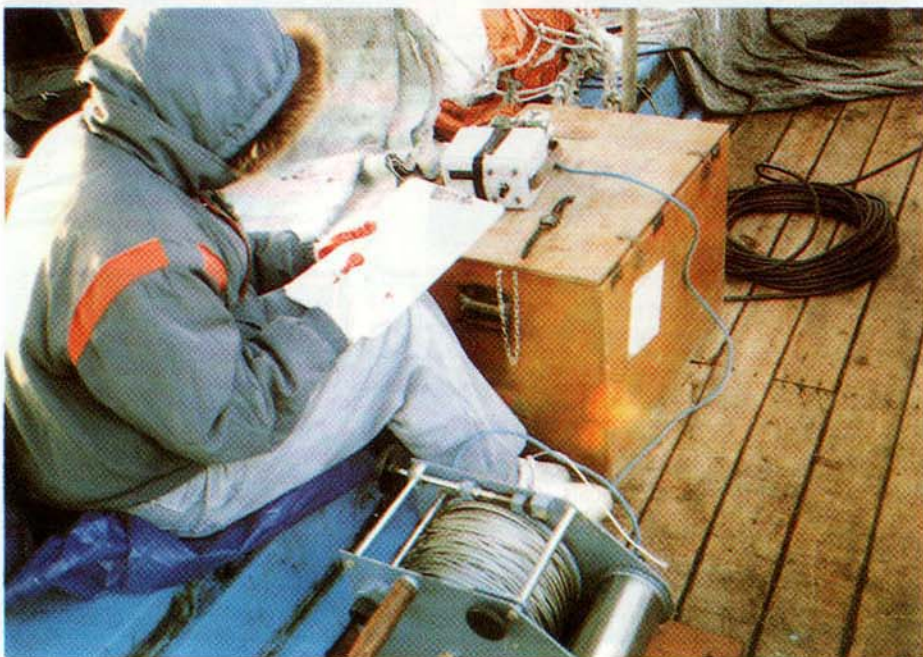


Photo. 3-6. Current observation.

2) 물뚝의 수중형상

물뚝의 전개직경 및 수중형상, 운동 등을 파악하는 것은 물뚝의 역학적 시스템을 이해하는데 있어서 매우 중요하다.

본 연구에서는 수온 및 수심센서(Vamco, minilog-TD))를 배잡이줄(1개), 스위블(1개), 물구멍(1개) 및 물뚝의 입구(4개)에 부착하여, 센서의 수심 데이터로부터 물뚝의 수중전개형상을 조사하였다.

특히 물뚝의 입구 직경의 변화는 <그림 3-7>에 나타낸 것과 같이 물뚝 입구에 수온 및 수심 센서 4개를 등간격으로 배치하여 수심차로부터 물뚝의 전개직경을 계산하였다. 즉, 센서의 좌표를 각각 $A(y_1, z_1)$, $B(y_2, z_2)$, $C(y_3, z_3)$, $D(y_4, z_4)$ 라고 하고, 물뚝의 직경, 반경, 센서간의 수평거리 및 회전각도를 각각 D , r , d 및 β 라고 가정하면

$$d \cdot \cos \beta = z_3 - z_2 \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

$$d \cdot \sin \beta = z_2 - z_1 \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

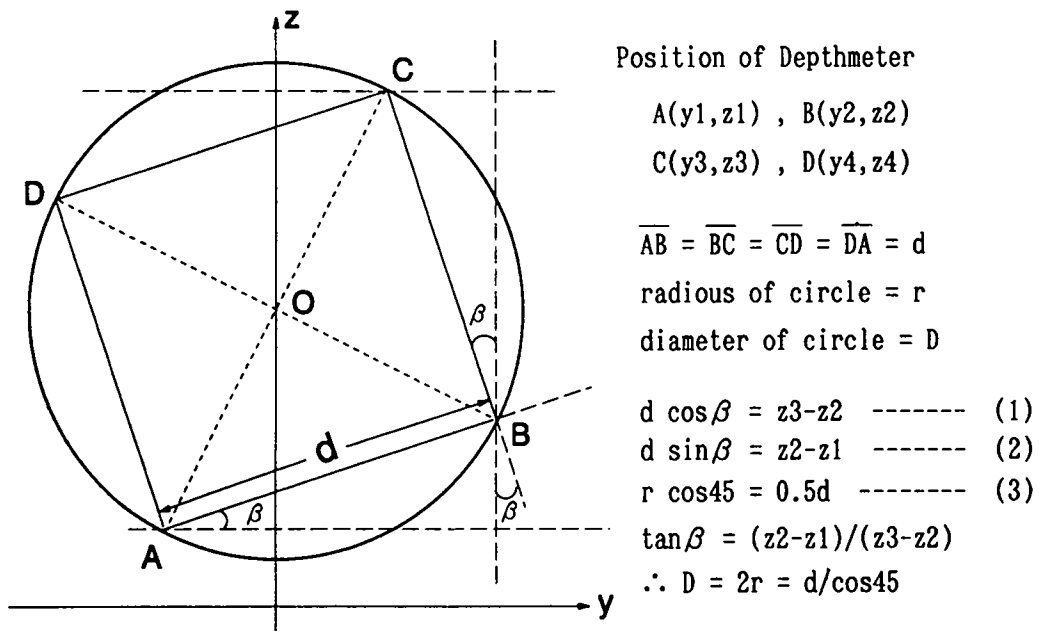


Fig. 3-7. Calculation of diameter of sea anchor from depthmeters.

$$r \cdot \cos 45 = \frac{d}{2} \dots\dots\dots (3-7)$$

가 된다. 또, 위의 (3-5), (3-6) 및 (3-7)식으로부터

$$\tan \beta = \frac{z_2 - z_1}{z_3 - z_2} \dots\dots\dots (3-8)$$

$$D = 2r = \frac{d}{\cos 45} \dots\dots\dots (3-9)$$

가 되므로, 수심센서의 깊이 차이로부터 물뚝의 전개직경이 계산된다.

3) 물뚝 시작품의 종류

해상 시험에 사용한 시작품의 종류는 원추형 6종 및 반구형 2종이었으며, <표 3-6> 및 <표 3-7>에 각부 치수를 나타내었다. <표 3-6>의 원추형 물뚝 중, J 및 T형, S형은 상업용으로 사용되고 있는 것과 같은 규격이며, 그 외에는 본 연구를 위하여 새로 제작된 것이다. 원추 및 반구형의 재단방법은 모형의 재단법과 동일하므로 여기에서는 생략한다.

Table 3-6. Dimension of Cone type sea anchor system

Type (θ°)	Dimension (cm)							
	DM (D)	DV(e)	No. of Strip	Length of Strip(s)	Base(d)	Topside(p)	Suspension line	
							Length	Number
Cs (30°)	600	20	16	330	117.8	4	1200	16
Es (50°)	600	20	16	448	117.8	4	1200	16
EI (50°)	2063	70	48	1549	135	4.6	4500	24
J (25°)	2590	110	58	1370	5.9	6.6	6500	29
T (-)	2200	110	48	1040	135	7.5	4500	48
S (36°)	2210	70	26	1320	135	8.8	4500	26

* DM(D) : Diameter at the mouth of the canopy

* DV(e) : Diameter at the vent of the canopy

Table 3-7. Dimension of the Semi-sphere type sea anchor system

Type	Dimension(cm)						Suspension line	
	DM (D)	DV(e)	No. of Strip	Length of Strip (s1,s2,s3)	Base (d1,d2,d3)	Topside (p)	Length	Number
Hs	600	20	16	157, 157, 147	118, 102, 59	4	1200	16
HI	2063	70	48	540, 540, 503	135, 117, 68	4.6	4500	24

* DM(D) : Diameter at the mouth of the canopy

* DV(e) : Diameter at the vent of the canopy

3. 결과 및 고찰

각종 물뚝의 해상실험 결과는 다음과 같다.

1) 각종 물뚝의 수중형상

원추형 물뚝 J 및 EI형, 반구형 물뚝 HI형의 수심 및 직경의 시계열 변화를 <그림 3-8, 9, 10>에 나타내었다. 이들 그림으로부터 물뚝은 시간의 변화와 함께 상하방향으로 운동하며, 전개직경도 상당히 변화하는 것을 알 수 있다.

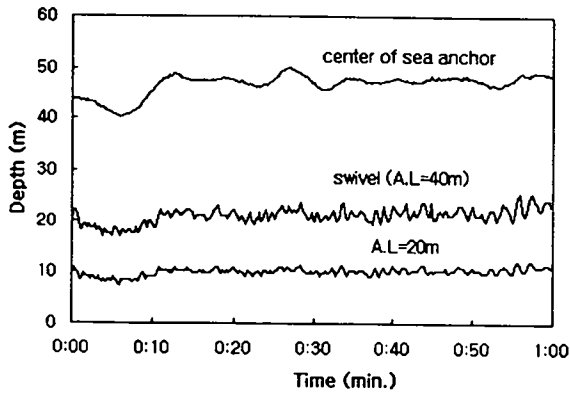
각종 물뚝의 전개직경의 평균치를 <표 3-8>에 나타내었다. <표 3-8>로부터 현재 오징어 채낚기 어선에 상용으로 사용되고 있는 직경 20m 이상의 원추형 물뚝(J, T, S형)의 수중전개직경은 설계직경의 약 60~67%라는 것을 알 수 있다. 그리고 본 연구를 위하여 새롭게 고안된 원추형(EI형) 및 반구형(HI형)의 수중전개직경은 설계직경의 각각 74% 및 80.2%라는 것을 알 수 있다. 즉 새로 고안된 원추형(EI형) 및 반구형(HI형)이 기존의 상용 물뚝에 비하여 수중전개직경이 크고, 따라서 흐름에 대한 전개효율이 좋다고 생각된다.

그러나 해상 실험에서 얻어진 전개직경 비율과 모형실험에서 구한 결과를 비교하여 보면, 동일한 형태의 물뚝일지라도 모형의 값이 훨씬 크다. 이러한 현상은 <표 3-8>에서도 명백하다. 즉 형태는 비슷하나 직경의 크기가 다른 Cs형과 J형

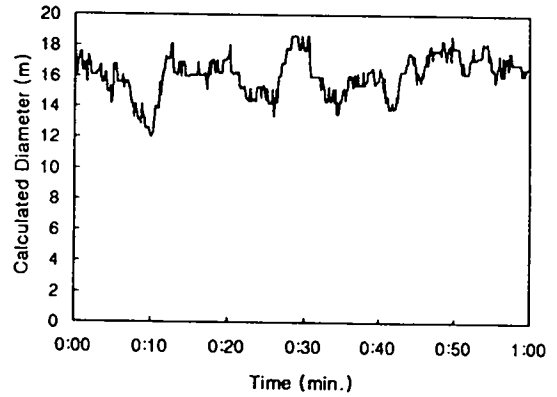
및 Hs형과 HI형을 비교해 보면, 직경이 작은 물뚝이 직경이 큰 물뚝에 비하여 전개 직경 비율이 더 크다. 이와 같은 현상은 물뚝이 해중에서는 경사하여 전개되어 있으나, 계산에서는 물뚝의 경사를 고려하지 않았으므로 오차가 포함되어 있기 때문이라고 생각된다. 앞으로 여기에 관해서는 해황, 물뚝의 항력 등과 연계한 보다 깊은 연구가 필요하다고 생각된다.

Table 3-8. Rate of the calculated diameter(Dr) to designed diameter(D) of sea anchors.

Type	Diameter D(m)	Calculated Diameter Dr(m)	% (D/DM)
Cs	6.0	4.3	73.1
J	25.9	17.4	67.1
El	20.6	15.3	74.0
T	22.0	13.2	60.0
S	22.1	14.2	64.3
Hs	6.0	5.3	88.9
HI	20.6	16.5	80.2

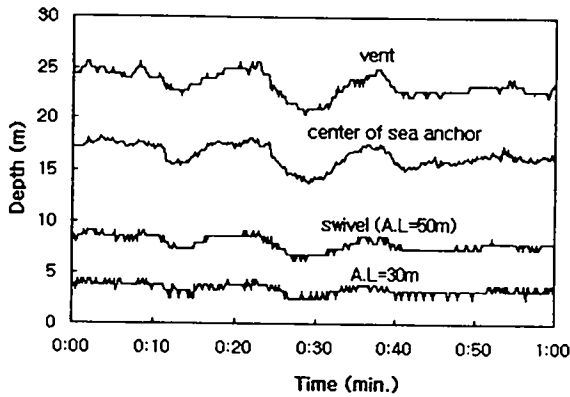


(a) changes of depth

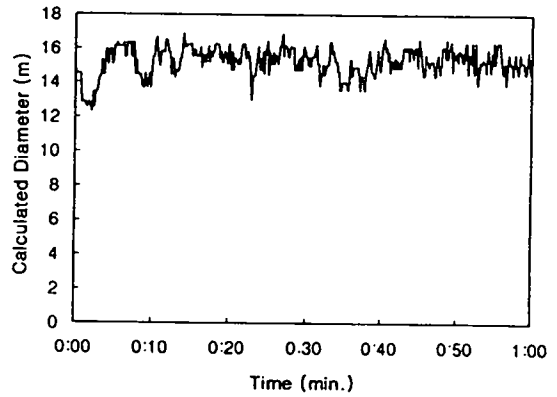


(b) changes of diameter

Fig. 3-8. Changes of the depth and the diameter of J type sea anchor. A.L : length of anchor line(m), Designed diameter : 25.9m

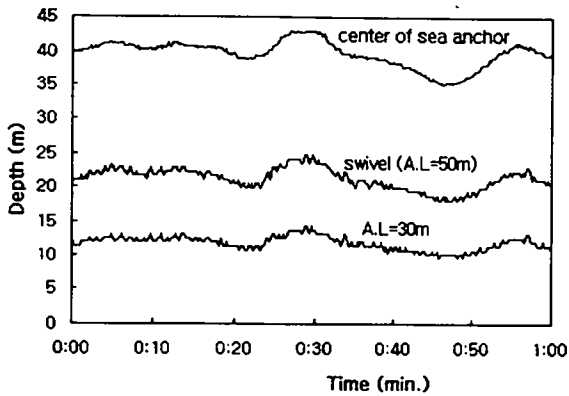


(a) changes of depth

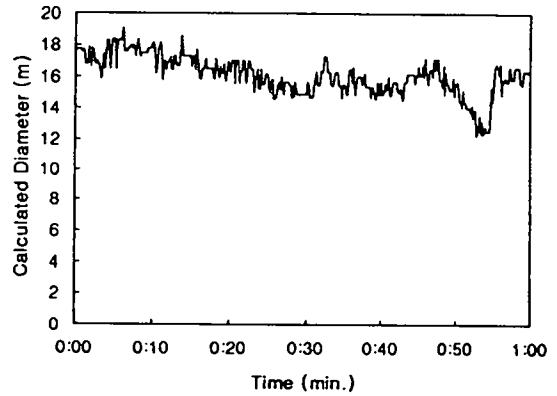


(b) changes of diameter

Fig. 3-9. Changes of the depth and the diameter of E1 type sea anchor. A.L : length of anchor line(m), Designed diameter : 20.6m



(a) changes of depth



(b) changes of diameter

Fig. 3-10. Changes of the depth and the diameter of H1 type sea anchor. A.L : length of anchor line(m), Designed diameter : 20.6m

2) 물뚝의 저항

각종 시작품 물뚝의 장력, 배잡이줄의 경각 및 선박의 상대대수속도(조류의 유속 u , 선박의 대지속도 V)를 5분 간격으로 측정하였다. 이 중에서 해석이 가능한 원추형(J형, EI형) 및 반구형(HI형)의 상대대수속도별 항력계수를 <그림 3-11>에 나타내었다. 물뚝의 항력계수를 구하기 위해서는 배잡이줄의 길이, 수중중량 및 수중형상, 뚝줄에 작용하는 유체력 등을 충분히 고려하여야 하나, 본 연구에서는 배잡이줄은 직선이며, 배잡이줄의 유체력은 물뚝의 유체력에 비하여 매우 적다고 가정하여 배잡이줄 장력의 수평분력으로부터 계산하였다.

그림으로부터 조업 중 선박의 대수속도는 0.1~0.25m/s이며, 물뚝의 항력계수는 0.10~0.32의 범위에 있고, 원추형인 J형, EI형 및 반구형인 HI형의 평균 항력계수는 각각 0.18, 0.18 및 0.23이라는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 실물과 모형의 항력계수는 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 여기에 관해서는 해황 및 Reynolds수 등을 고려한 보다 많은 연구를 통하여 명백히 밝힐 필요가 있다고 생각된다.

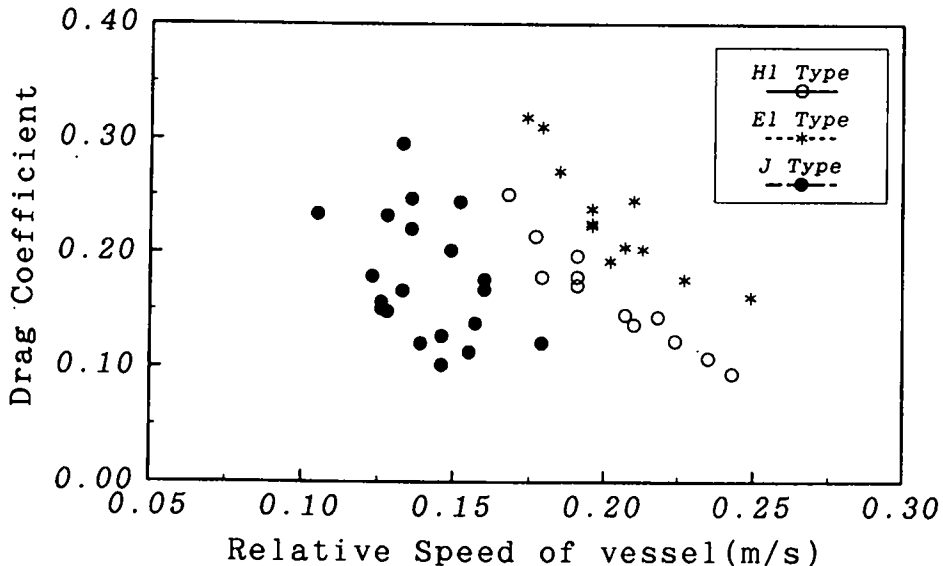


Fig. 3-11. Drag coefficients of sea anchors relation to the relative speed of vessel.

제 4 장 투양묘 방법 기계화 연구

제 1 절 서 론

오징어 채낚기 어선에서는 조업시 선박을 조류의 흐름과 유사한 속도로 흘러가도록 하여 오징어 어군이 선박 주위에 오래 머물러 있도록 할 목적으로 물뚝(Sea anchor)을 사용하고 있는데, 물뚝을 어선 밖으로 투하하여 수중에 전개시키는 작업을 투묘작업, 어로작업이 종료된 후 전개되었던 물뚝을 다시 선내로 거둬들이는 작업을 양묘작업이라 하며, 이들 작업은 어선이 어장에 도착하면 투묘한 후 어로작업을 수행하고, 어로작업이 끝나면 양묘하는 과정을 거치게 된다.

오징어 채낚기 어업에서는 이러한 투양묘작업과 어획물 처리가 가장 힘든 일이며, 이 작업 공정에 따라 오징어 채낚기 어선의 승무원 규모가 결정된다. 이러한 실정에서 우리나라 연근해에서 조업하는 50톤 이하의 오징어 채낚기 어선에서는 투양묘작업이 기계화되지 못하고 Side drum을 사용하여 투양묘를 하고 있어, 투양묘작업에 6~7명의 인력이 소요되고 있다. 이와 같은 이유로 동 어업은 자동조획기가 도입됨에 따라 조업인력의 감축 여건은 충분히 조성되었음에도 불구하고 조업인력 감축이 거의 이루어지지 않고 있으며, 투양묘작업 공정상 조업인력 감축이 어려운 실정이다.

현재 오징어 채낚기 어업은 사회 전반적인 3D 기피현상의 심화에 따른 조업인력 확보가 어려운 문제로 대두되고 있어, 동 어업의 경쟁력 제고를 위해서는 최우선적으로 조업인력을 절감시켜야 하며, 전술한 바와 같이 투양묘에 소요되는 인력을 최소화 할 수 있는 소형어선에 적합한 투양묘 기계화 장치의 개발이 시급히 요청되고 있는 실정이다.

따라서 기존의 투양묘작업에 소요되는 인원을 50% 이상 줄일 수 있는 투양묘기를 개발하기 위하여 1차년도에는 트롤 어선에서 사용하고 있는 트롤 윈치를 응

용, 연근해에서 조업하는 30톤급 채낚기 어선에 적합하도록 규모를 산출하여 투양묘기 시작품을 설계·제작하였다. 이 시작품의 해상 기초실험을 통하여 유압적, 전기적, 조업상의 문제점을 파악하였고, 2차년도에는 1차년도 투양묘기 시작품의 해상 기초시험에서 발견된 문제점을 보완하여 투묘와 양묘의 전 과정을 Drum의 조작만으로 가능하도록 설계·제작된 Two-drum형 투양묘기의 해상 성능시험을 실시하여 그 성능을 확인하였다.

제 2 절 기존의 투양묘 방법

종래의 투양묘 방법은 Side drum을 이용하는 방법으로 <그림 4-1>과 같이 Guid roller(사진 4-1)를 통과한 양묘줄을 Side drum에 감아 잡아당겨 줄과 Side drum의 마찰차를 이용하여 감아올리는 방법으로 주기에 연결된 전동장치에 의해 Side drum을 구동하고 있다.

이러한 방법은 Side drum의 구조적 특성상 줄을 양묘할 경우에만 사용할 수 있으므로 양묘줄만 자연스럽게 감아올릴 수 있고, 연줄 및 배잡이줄은 인력으로 양묘해야 하므로 투양묘시 6~7명의 많은 인력이 소요되고 있다(사진 4-2). 물뚫 본체는 본체의 여러 부분을 줄로 묶어 그 줄에 연결줄을 걸착한 후 연결줄을 Side drum을 사용하여 양묘하는 방법을 사용하고 있는데, 본체를 묶고 Side drum 양묘줄에 연결하는 등 본체 양묘를 위한 별도의 작업공정이 추가되므로써 작업시간이 과다하게 소요되고 있는 실정이다. 또한 양묘된 물뚫은 갑판상에 길게 늘어뜨려 적재하므로 많은 용적을 차지하므로 취급과 보존이 곤란하고 어획물 적재 등 다른 어로작업에 막대한 지장을 초래하고 있어 물뚫의 보존 방법까지 포함하는 투양묘 방법의 개선이 시급한 실정이다.

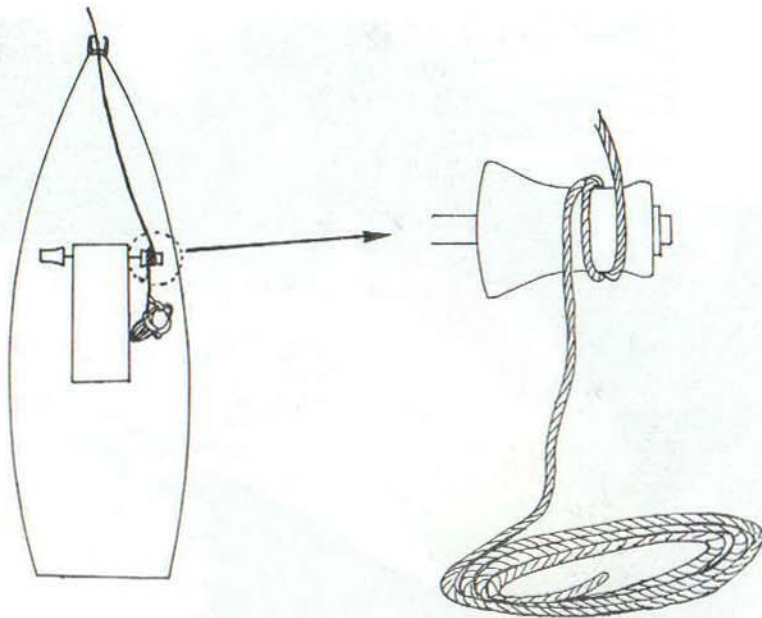


Fig. 4-1. Schematic view of hauling operation of sea anchor system by Side drum.

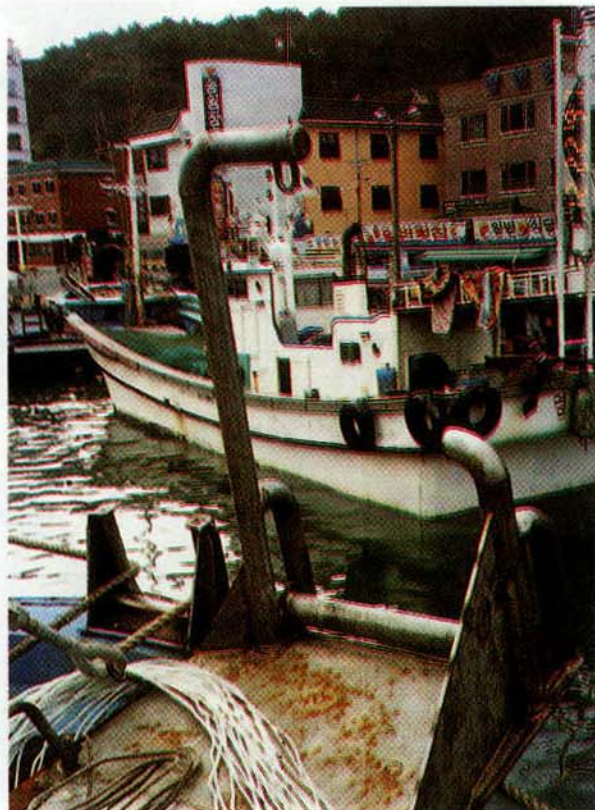


Photo. 4-1. Guide roller.



Photo. 4-2. Traditional shooting operation of sea anchor.

제 3 절 30톤급 어선용 투양묘기 제작 및 성능시험

1. 투양묘기 구동방식의 결정

현재 100톤급 이상의 오징어 채낚기 어선에서 사용되고 있는 투양묘기는 구동 방식에 따라 전동식과 유압식으로 나뉘며, 유형에 따라 다음과 같은 장단점을 가지고 있다.

전동식은 구조가 간단하고 견고하며, 가격이 저렴하고 등속 운전시 안전성이 매우 우수하지만 회전 및 양묘속도 조절이 곤란하므로 물뚫의 손상이 잦고 기동시 힘이 약하며 기동전류가 크다는 결점이 있다.

이에 반하여 유압식은 속도조절이 용이하여 물뚫의 파손을 방지할 수 있고 조작기술 숙련이 간단하며, 출력 및 토크도 용이하게 제어할 수 있고, 직선운동 및 회전운동이 모두 가능하다. 또한 비교적 소형에서 큰 출력을 얻을 수 있고, 장치의 관성이 적으며, 속도조절이 용이하므로 간헐동작이 쉽게 얻어지고, 기계적인 제동장치가 없어도 정확한 위치결정이 가능하다는 등의 장점이 있으나 시설비가 전동식에 비해 많이 소요되고, 구조가 다소 복잡하다는 결점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 모든 작업공정이 해상에서 이루어지므로 어업기기가 가져야 할 구비조건인

- ① 견고하고 동 하중에 대한 강도가 클 것
- ② 취급운용이 간편할 것
- ③ 해수에 대한 내식성이 클 것
- ④ 속도조정이 신속 정확할 것
- ⑤ 내진성이 클 것

등의 조건을 고루 만족시키는 유압식을 본 연구의 투양묘기 시제품 구동방식으로 결정하였다.

2. 투양묘기의 설계

본 연구에서는 오징어 채낚기 어업에서 물뚫 투양묘 방법을 기계화하기 위한

투양묘기 시작품을 제작하기 위하여 다음과 같은 순서에 의해 시작품 제작에 필요한 기초자료를 산출하였다.

투양묘기 규모를 결정하기 위하여 우선, 물뚫 본체의 직경, 둘레, 길이, 연줄의 직경과 길이, 배잡이줄의 직경, 길이 그리고 양묘줄의 직경, 길이 등을 토대로 물뚫 전체의 용적을 계산하여 여기에 안전 사용율을 적용한 투양묘기 용적을 산출하였다.

또한 양묘시에 소요되는 힘을 계산하여 모터의 용량과 Torque를 산정하였다. 이와 동시에 각부의 기계적 특성을 고려하여 Gear의 치각비, 각속도비 등을 결정한 후 투양묘기를 설계·제작하였다.

가. 투양묘기 용적 계산

투양묘 방법 기계화를 위해 트롤에서 사용하고 있는 원치를 응용하여 현재 조업중인 30톤급 오징어 채낚기 어선용 물뚫에 적합하도록 물뚫의 각 부위를 측정하여 투양묘기의 Drum 용적을 설계하였다.

30톤급 어선에서 현재 사용되고 있는 물뚫의 규격은 본체 1조각의 밑변(a)이 1.4m, 윗변(b)이 0.07m, 높이(h)가 13.68m, 재질의 두께(t)가 0.35mm이고, 전체 58폭을 붙여 사용하므로 실물 물뚫의 부피(V_s)는

$$V_s = \frac{(a+b)h}{2} \times t \times \text{폭수}(m') \dots\dots\dots (4-1)$$

이므로 $V_s = 0.20m^3$ 지만, 각 폭의 연결과 보강을 위하여 두께 3.5mm인 밴드를 사용했고, 물뚫 내부의 공기함축 등으로 실용적을 측정한 결과 0.78m³였다.

또한 보통의 경우 배잡이줄의 용적(V_R)은 배잡이줄 로프 직경($2r$)이 35mm인 PP 로프를 길이(L) 50m 사용하므로

$$V_R = \pi \times 2r \times L \dots\dots\dots (4-2)$$

식에 의해 구해지며, 값은 0.05m³지만, 용적은 원치에 감기는 효율에 따라 커지며, 줄이 Drum에 감기는 효율이 0.785이므로 실제 값은 대략 1.2배인 0.06m³가 된다.

양묘줄의 용적(V_R)도 통상적으로 로프 직경($2r'$)이 18mm인 PP 로프를 길이 (L) 200m 사용하므로 양묘줄의 용적은 배잡이줄의 용적과 마찬가지로

$$V_R = \pi \times 2r' \times L' \dots\dots\dots (4-3)$$

식에 의해 구해진다. 따라서 양묘줄의 용적은 0.05m³였으며, Drum에 감기는 효율 0.785를 대입하면 0.06m³가 된다.

또한 연줄의 용적($V_{R''}$) 계산법도 직경(r'')이 8mm, 길이(L) 65m인 로프 29가닥을 사용하므로

$$V_{R''} = \pi \times 2r'' \times L'' \times \text{가닥수} \dots\dots\dots (4-4)$$

이다. 따라서 연줄의 용적은 0.09m³이므로 Drum에 감기는 효율 0.785를 대입하면 0.12m³가 된다.

여기서 투양묘기의 Drum 직경을 r mm, 높이를 L mm, 중간 Shaft의 직경을 r_s mm라 하면 투양묘기 Drum의 용적(V_T)은

$$V_T = \pi L(r^2 - r_s^2) \dots\dots\dots (4-5)$$

식에 의해 투양묘기 Drum에 줄 및 물뿔 본체가 감길 수 있는 용적을 산정할 수 있다. 그러므로 투양묘기 Drum의 용적은

$$V_T = V_s + V_R + V_{R'} + V_{R''} = \pi L(r^2 - r_s^2) \dots\dots\dots (4-6)$$

이 되어 $V_T = 0.62 + 0.06 + 0.06 + 0.12 = \pi L(r^2 - r_s^2) = 0.86$ 으로 계산되지만 안전사용율을 고려하면

$$\therefore 1.02 = \pi L(r^2 - r_s^2)$$

여기서 r , r_s , L 은 각각 선박의 복원력, 조타실에서의 전방시야 방해여부, 물뿔의 실용적 및 각종 줄이 Drum에 감기는 효율, 안전 사용율을 고려하여 결정해야 하며, 본 연구에서는 $r = 0.6$ m, $r_s = 0.18$ m, $L = 1.0$ m로 각각 결정하였다.

나. 양묘시 물뿔에 걸리는 저항

양묘시 물뿔에 걸리는 저항 (R_s)은 저항계수(C_T)와 해수밀도(ρ), 물뿔의 단면적(A)에 비례하고 양묘속도(V)의 제곱에 비례하여 증가하므로

$$R_s = \frac{1}{2} C_T \rho A V^2 \dots\dots\dots (4-7)$$

식에 의해 양묘시 물돛에 미치는 저항을 알 수 있으므로 그 계산된 값을 토대로 투양묘기의 양묘능력을 결정하였다.

따라서 30톤급 어선에서 사용되고 있는 물돛에 미치는 저항(C_T)은 0.42, 해수밀도 $105\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$, 물돛 단면적은 완전 전개시 524.96m^2 지만 양묘시는 물돛이 전개되지 않고 거의 닫히므로 $2\pi r(\text{원주})\times t(\text{천의 두께})$ 로 표현되므로 0.31262m^2 가 된다. 그러나 이 경우는 완전히 닫혔을 때를 기준으로 계산된 값이며, 위에서 물돛의 용적 계산시 각각의 폭을 연결하기 위한 보강용 밴드 및 물돛 내부의 공기 함축에 의한 영향을 고려하면 2.272m^2 가 된다. 또한 적정 양묘속도는 릴의 기준점에서 회전속도가 40rpm이므로 양묘속도는 $2.67\text{m}/\text{sec}$ 가 된다. 따라서 물돛의 양묘시 저항은

$$R_s = \frac{1}{2} C_T \rho A V^2 = 0.5 \times 0.42 \times 105 \times 2.272 \times (2.67)^2 = 357\text{kg}$$

으로 나타나 투양묘기의 설계시 안전 사용율 60%를 고려하여 1톤으로 산정하여 설계하였다.

다. 투양묘기의 Torque

투양묘기의 설계시 필요한 Torque(T_D)는 힘(w)과 반경($\frac{d}{2}$)의 곱으로 표현되므로

$$T_D = \frac{wd}{2} \dots\dots\dots (4-8)$$

$\therefore T_D = 1000 \times \frac{0.6}{2}$ 이 된다.

따라서 투양묘기의 Drum torque는 $300\text{kg}\cdot\text{m}$ 으로 계산되지만 안정성을 고려하여 $350\text{kg}\cdot\text{m}$ 으로 결정하였다.

라. 투양묘기의 양묘속도

투양묘기의 양묘속도(V_D)는

$$V_D = \frac{V}{\pi d} = 40 / (\pi \times 0.6) \dots\dots\dots (4-9)$$

식으로 표현되므로 투양묘기의 회전속도 V_D 는 21.23rpm으로 계산되지만 작업의 안전성을 위하여 18.20rpm으로 설정하였다.

마. 기어의 치각 및 각속도비

기어의 치각 및 각속도비는 두 개의 기어의 직경(R_1, R_2), 이빨수(N_1, N_2), 각속도비(ω_1, ω_2)의 비가 되므로

$$i = \frac{R_1}{R_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \dots\dots\dots (4-10)$$

식에 의해 알 수 있으며 $i = \frac{18}{54} = \frac{1}{3.0}$ 이 되도록 설계하였다.

바. 투양묘기의 설치 위치 결정

투양묘기는 그 자체 무게가 1톤을 상회하므로 투양묘기의 설치로 선박의 안전에 지장을 초래할 우려가 있다. 따라서 투양묘기의 무게 및 설치위치에 따른 선박의 횡경심의 부심상 높이, 기선상 횡경심의 높이, 선수 흘수의 변화, 선미 흘수의 변화, 경사도 등의 산출은 매우 중요하다.

따라서, 횡경심의 부심상의 높이는

$$BM = a \cdot \frac{B^2}{d} \dots\dots\dots (4-11)$$

기선상 횡경심의 높이는

$$KM = KB + BM \dots\dots\dots (4-12)$$

선수 흘수의 변화는

$$\delta d_f = \frac{w}{T} \pm \frac{wl}{M_{cm}} \frac{f}{L} \dots\dots\dots (4-13)$$

선미 흘수의 변화는

$$\delta d_a = \frac{w}{T} - (\pm) \frac{wl}{M_{cm}} \frac{a}{L} \dots\dots\dots (4-14)$$

에 의해 각각 구해지며, 이 값에 따라 투양묘기의 선내 부착위치를 결정하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 <그림 4-2>와 같이 시험선으로 선정된 길양호의 선수부에서 1.5m 떨어진 위치에 배의 중심선을 기준으로 우현에 투양묘기 본체를, 좌현에 유압탱크를 각각 설치하여 좌우 밸런스가 맞도록 설치하였다.

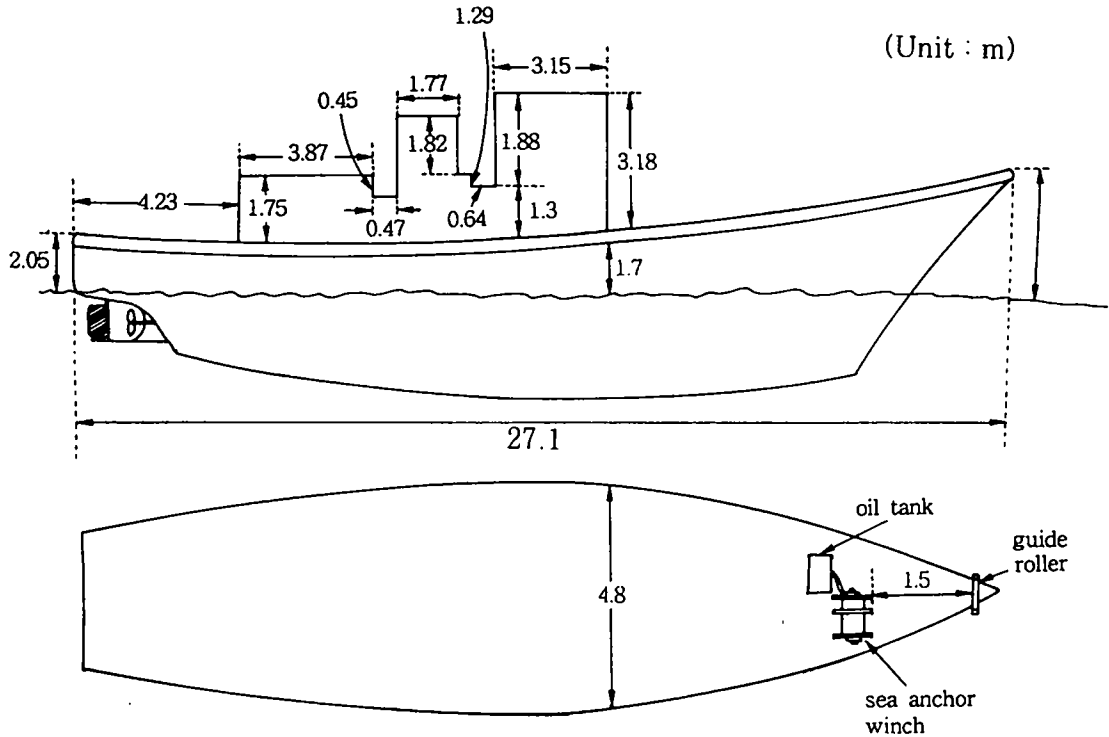


Fig. 4-2. Arrangement of sea anchor winch with One-drum.

3. 투양묘기 시작품 설계·제작

이와 같은 순서로 계산하여 설계된 투양묘기의 각부 구성은 유압모터, 콘트롤 밸브, 스톱밸브, 릴리프 밸브, 압력 게이지, 유압펌프, 전동모터, 스톱밸브, 오일 탱크 등으로 구성되어 있다. <그림 4-3> 및 <그림 4-4>와 같이 양단부는 지지대의 상단부 면에 장착된 베어링에 의해 각각 지지되는 Shaft가 베어링에 의해 회전될 수 있도록 배치되어 있고, Shaft에는 물뚝의 양묘줄과 본체를 감아올리는 Drum 과 배잡이줄을 양묘할 목적으로 구성된 Side drum이 배치되어 있으며, Shaft 상에 활주와 회전이 가능하도록 구성된 클러치가 장착되어 있다.

이렇게 구성된 투양묘기의 세부 제원은 Drum 길이가 1.0m, Shaft 직경이 0.36m, Drum 직경이 1.2m, 기어 이빨수가 각각 54 및 18개로 구성되어 치각비가 1/3이 되도록 하였다.

투양묘기를 구동하기 위해서는 우선 주기에 연결된 전동모터가 구동된 후 일정 압력 이상이 되면 콘트롤러에 의해 속도를 가변하면서 피니언에 의해 회전운동이 기계적 운동으로 변형되는데, 이 때 Drum이 구동되도록 클러치를 넣으면 Drum이 회전운동을 하므로써 물뚝을 감아들이는 방법이다.

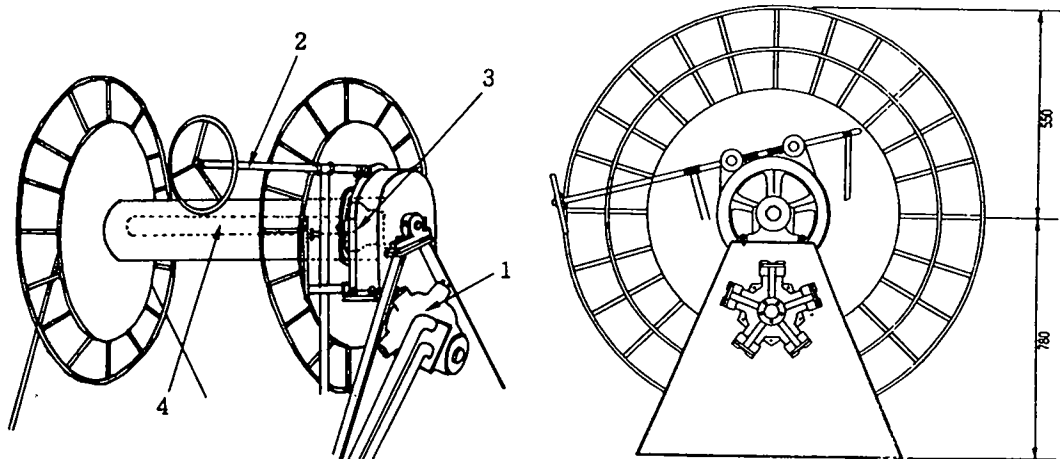


Fig. 4-3. Schematic view of sea anchor winch with One-drum.

1. HYD' motor, 2. Break drum handler, 3. Pinion, 4. Shaft

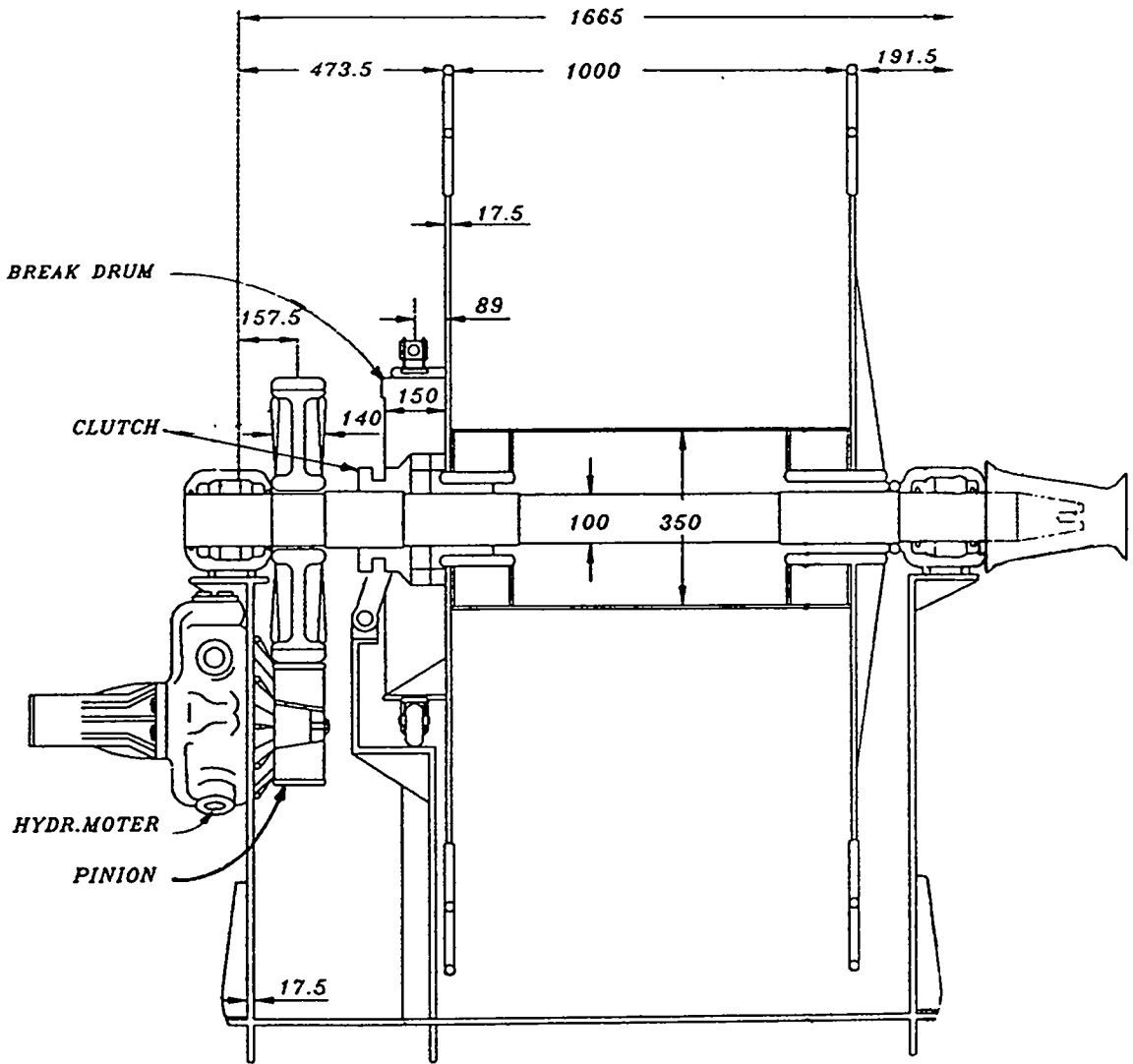


Fig. 4-4. Schematic drawing of sea anchor winch with One-drum.

4. 해상 기초시험

1차년도에는 트롤윈치를 응용한 투양묘기 시작품을 제작(사진 4-3)하여 투양묘기의 기계적, 전기적, 유압적 문제점 및 투양묘작업 공정상의 문제점 등을 도출하기 위한 해상 성능 기초시험을 실시하였다.

투양묘기 설치에 따른 해상 기초시험에서 작업 인원을 6~7인에서 4인으로 줄여 작업이 가능하였으므로, 투양묘기 사용으로 인한 인력절감 효과는 33~43% 정도임을 알 수 있었다. 그 이외에 투양묘기의 기계적, 전기적, 유압적 측면에서의 문제점은 도출되지 않고 정상적으로 작동되었으며, 투양묘기의 설치에 따른 선박의 복원력 변경 등 선박 안전상의 문제는 전혀 발생하지 않았다.

그러나 <그림 4-5, 4-6>과 같이 투양묘작업 공정은 투묘시에는 추 → 물뚫 본체, 부표 줄 → 연줄, 양묘줄 → 배잡이줄의 순서로, 양묘시에는 양묘줄 → 부표 줄 → 추 → 물뚫 본체 → 연줄 → 배잡이줄의 순서로 작업을 하게 된다.

따라서 물뚫을 양묘할 때 연줄은 여전히 인력으로 양묘하여야 하며, 추가 Drum 내에서 물뚫 본체에 덮여 있게 된다(사진 4-4). 따라서 물뚫을 다시 투묘하기 위해서는 추가 가장 먼저 투하되어야 하므로 물뚫 본체를 갑판상에 펼쳐 놓고 추를 Drum에서 꺼낸 후 물뚫 본체를 다시 정리해야 하는 불편함이 있음을 알 수 있다.

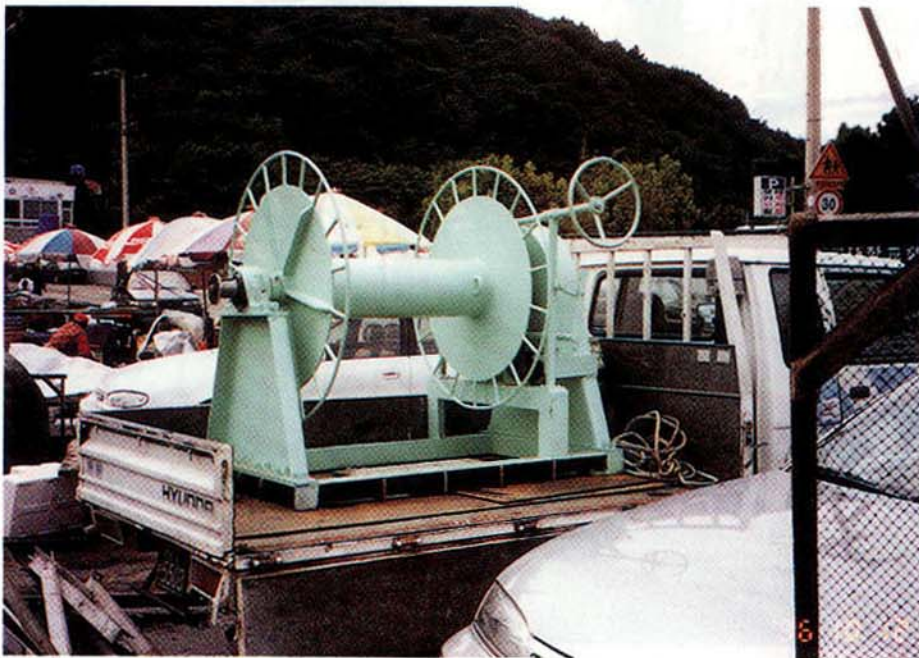


Photo. 4-3. Sea anchor winch with One-drum.



(a) Sea anchor winch with One-drum



(b) Unpacking operation of the sea anchor system to pick out sinker

Photo. 4-4. Sea anchor winch with One-drum.

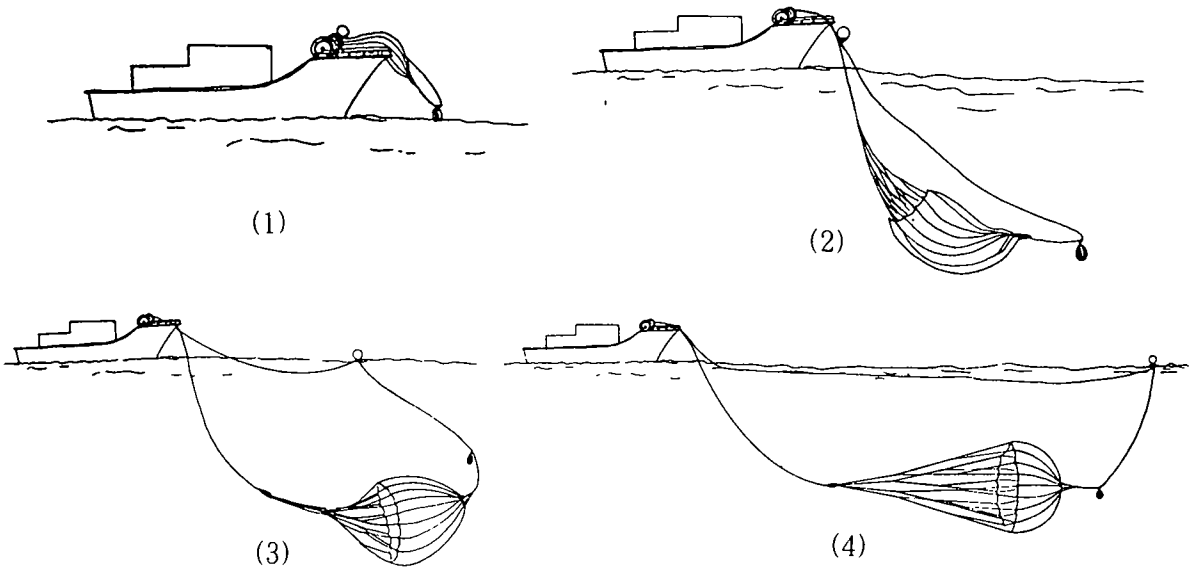


Fig. 4-5. Anchoring operation of sea anchor system.
 (1) Shooting sinker
 (2) Shooting canopy and Buoy
 (3) Shooting buoy line and anchor line
 (4) Finished anchoring operation of sea anchor system

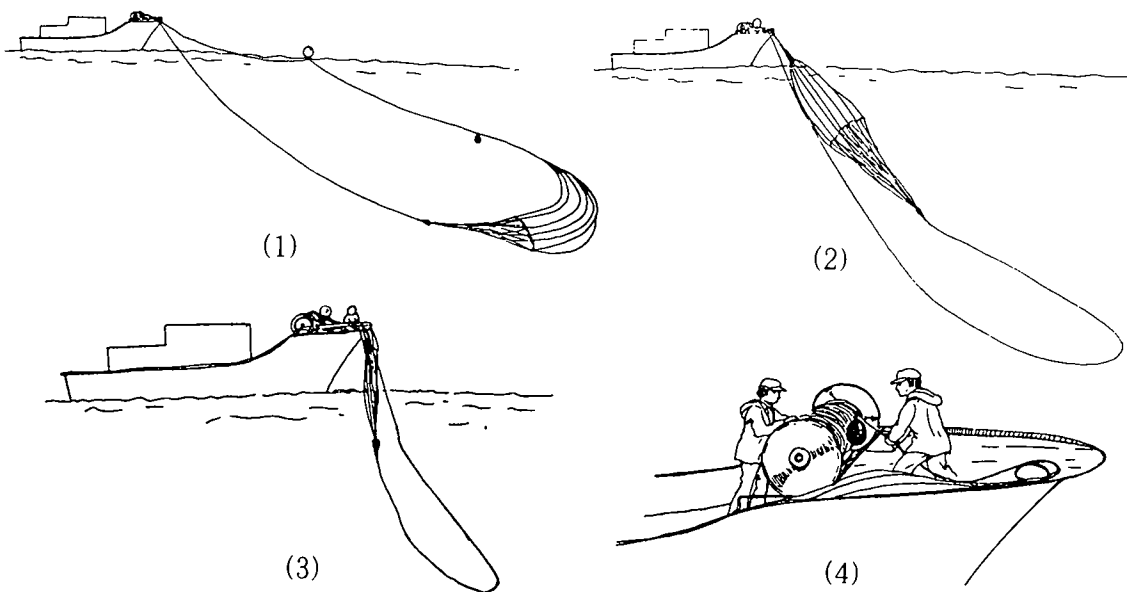


Fig. 4-6. Hauling operation of sea anchor system by sea anchor winch with One-drum.
 (1) Lifting hauling line
 (2) Lifting sinker and canopy
 (3) Lifting suspension line and anchor line
 (4) Unpacking the sea anchor system to pick out the sinker

제 4 절 Two-drum형 투양묘기 제작 및 성능시험

1. Two-drum형 투양묘기 시작품 설계 및 제작

1차년도에는 One-drum형 투양묘기 시작품을 제작하여 해상 기초시험을 실시한 결과, 도출된 투양묘작업 순서상의 문제점을 보완하기 위하여 양묘시 물돛의 양묘줄 및 납추만 감는 Drum(제 1드럼)과 배잡이줄 및 본체를 감는 Drum(제 2드럼)이 각기 별도로 구동 가능하도록 하는 기능을 갖춘, 즉 2개의 Drum을 갖는 투양묘기를 설계·제작하였다.

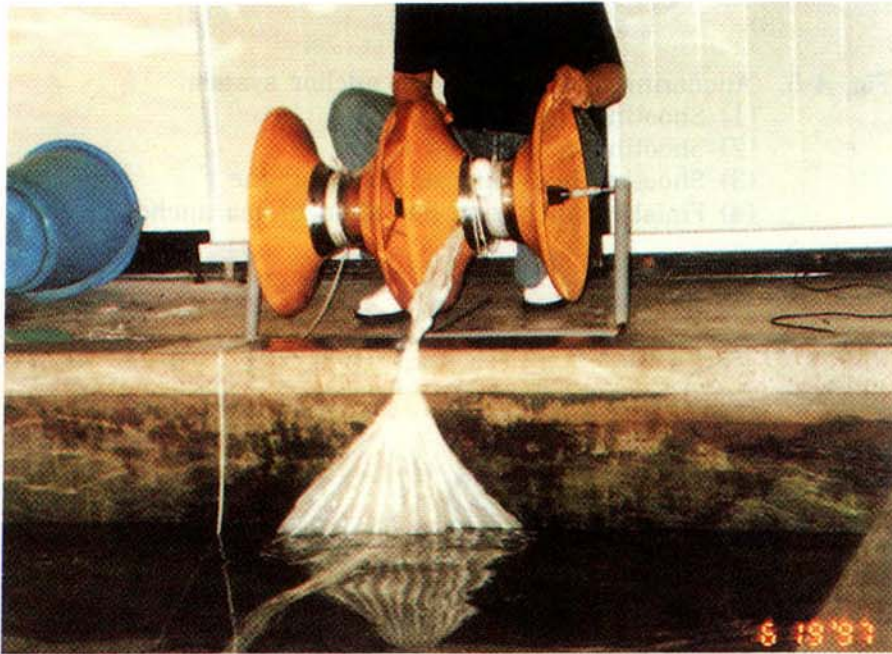


Photo. 4-5. Hauling experiment of a model sea anchor in water tank.

설계·제작전 모형 Two-drum형 투양묘기(사진 4-5)로 수조에서 1/30로 축소 제작된 모형 물돛을 투양묘하는 예비 시험을 실시하여 투양묘시 2개의 Drum을 사용함에 따라 발생할 것으로 예상되었던 물돛 및 각종 줄의 꼬임 등의 문제는 발생하지 않으며 투양묘작업 순서 변화 및 물돛 본체의 구조적 변화없이 현재의 어로작업 수행의 문제점을 해결할 수 있는 충분한 가능성이 있음을 입증하였다.

따라서 2차년도에는 Two-drum형 투양묘기를 설계하여 제 1드럼에는 양묘줄 및 추를 감고, 제 2드럼에는 배잡이줄, 연줄, 본체를 감을 수 있도록 고안된 투양묘기를 설계하기 위하여 투양묘기의 각 Drum의 용적을 계산하였으며, 전기적, 유압적 부분은 1차년도에 아무런 문제점 없이 구동되었기 때문에 1차년도와 같은 방법으로 설계하였다.

가. Two-drum형 투양묘기의 용적 계산

투양묘기의 Drum 용적 계산방법은 1차년도에 계산되었던 방법을 그대로 적용하여 각각의 Drum 용적을 계산하였다.

양묘줄은 통상적으로 ϕ 18mm인 PP 로프를 길이 200m 사용하므로 양묘줄의 용적(V_R)은 배잡이줄의 용적(V_R)과 마찬가지로

$$V_R' = \pi \times 2r' \times L' \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

식에 의해 구해진다.

따라서 양묘줄의 용적은 0.06m³였으나, 줄이 Drum에 감기는 효율이 통상적으로 0.785이므로 대략 1.2배의 값인 0.072m³가 되지만, 추의 용적, 안전사용율 등을 고려하여 0.28m³를 제 2드럼의 용적으로 정하였다.

$$\therefore 0.28 = \pi L(r^2 - r_s^2)$$

여기서 r , L 은 각각 선박의 복원력, Bridge에서의 전방시야 방해여부 등을 고려하여 결정해야 하며, 본 연구에서는 $r = 0.6m$, $r_s = 0.14m$, $L = 0.26m$ 로 각각 결정하였다.

또한 제 2드럼의 용적은 1차년도 계산 방법을 그대로 적용하되, 그 중 양묘줄의 용적만을 감한 용적으로 결정하였다.

따라서 투양묘기의 직경을 rmm , 높이를 Lmm , 중간 Shaft의 직경을 r_smm 라 하면

$$V_T = \pi L(r^2 - r_s^2) \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

식에 의해 투양묘기 제 1드럼의 용적(V_T)은

$$V_T = V_s + V_R + V_{R'} + V_{R''} = \pi L(r^2 - r_s^2) \dots\dots\dots (4-6)$$

이 되어 $V_T = 0.62 + 0.06 + 0.12 = \pi L(r^2 - r_s^2)$

$$\therefore 0.80 = \pi L(r^2 - r_s^2)$$

여기서 r , L 은 각각 선박의 복원력, Bridge에서의 전방시야 방해여부, 물뚝의 용적 및 각종 줄이 Drum에 감기는 효율, 안전사용율 등을 고려하여 결정해야 하며, 본 연구에서는 $r = 0.6m$, $r_s = 0.14m$, $L = 0.75m$ 로 각각 결정하였다.

나. Two-drum형 투양묘기의 설계

투양묘기의 규모를 결정하기 위하여 물뚝 본체, 연줄, 배잡이줄, 양묘줄 등의 용적을 산출하고, 동시에 조타실에서 전방시야 방해여부 등을 고려하여 투양묘기의 높이를 1.2m, 드럼 축(Drum Shaft) 직경은 0.105m, 물뚝 본체 양묘용 드럼 길이 0.75m, 양묘줄용 드럼 길이 0.26m로 각각 산출하였다.

또한 2개의 드럼이 서로 다른 클러치에 의해 구동되도록 하였으며, 조타실에서 원격 조정될 수 있도록 설계하였다(그림 4-7, 4-8).

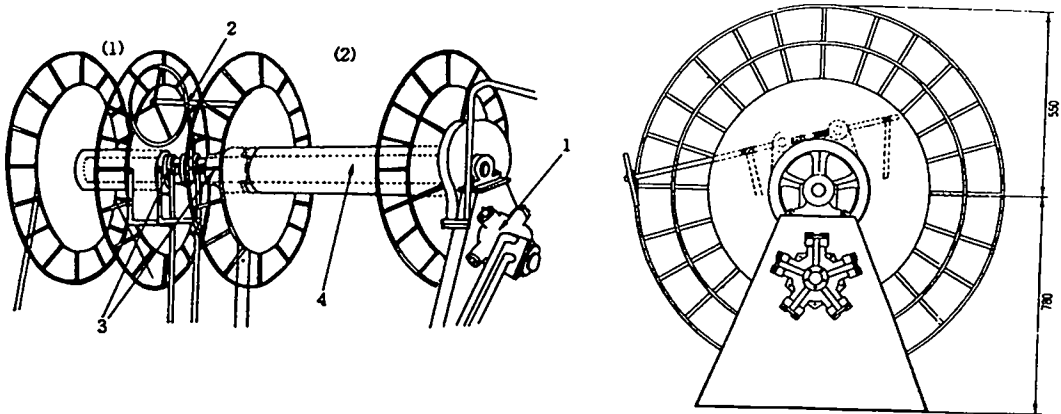


Fig. 4-7. Schematic view of sea anchor winch with Two-drum.

(1) : First drum, (2) : Second drum

1 : HYD' motor, 2 : Break drum handle, 3 : Clutch, 4 : Shaft

Two-drum형 투양묘기를 개발하기 위하여 <그림 4-9>와 같은 흐름도에 의해 투양묘기를 제작하였으며, 각부 주요 기기의 세부 제원은 다음과 같다.

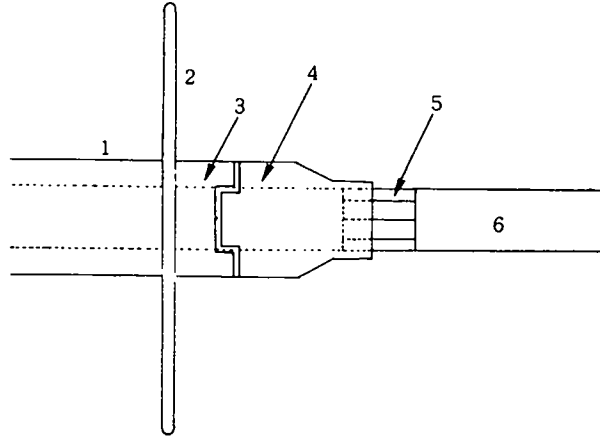


Fig. 4-8. Schematic view of clutch.

- 1 : Drum, 2 : Plate of drum, 3 : Male clutch,
4 : Female clutch, 5 : Runway of clutch, 6 : Shaft

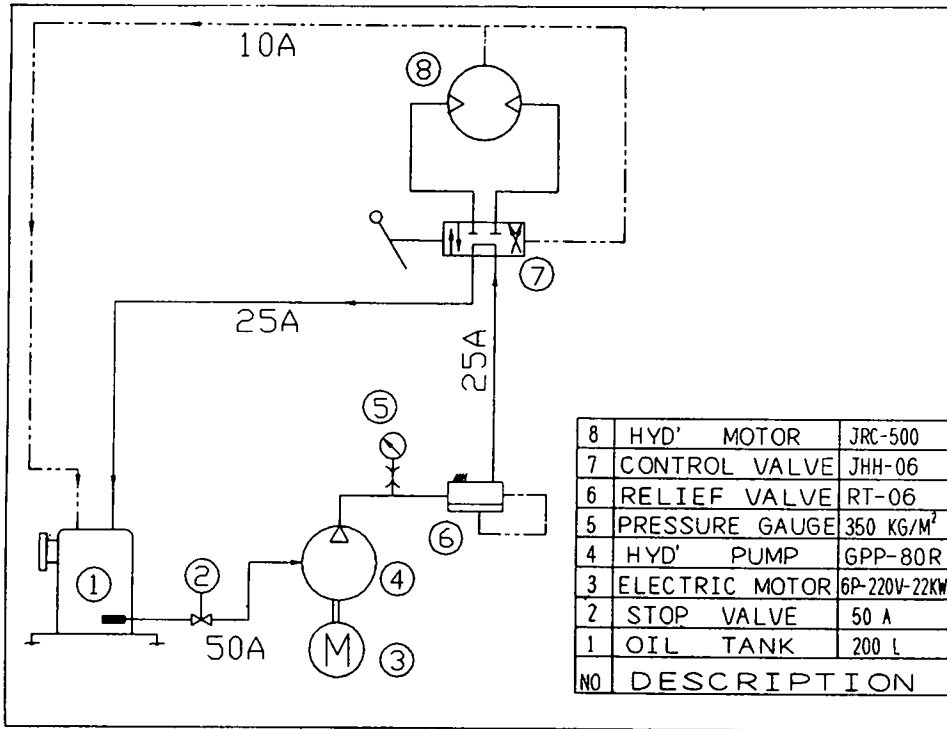


Fig. 4-9. Circuit diagram of the hydraulic unit of sea anchor winch with Two-drum.

2. Two-drum형 투양요기의 각부 구성

가. 전동 모터

전동 모터(Electric motor)는 전력의 공급을 받아 기계적 동력을 발생시켜 유압모터를 구동시키는 역할을 하는 모터로서, 정격 출력은 22Kw, 외피 방식은 밀폐형, 냉각 방식은 환냉각 방식을 채택하였다.

나. 릴리프 밸브

릴리프 밸브(Relief valve)는 회로의 압력이 밸브 설정 압력에 도달하면 유체의 일부 또는 전량을 배출시켜 회로내의 압력을 설정치 이하로 유지시켜 주는 압력 제어 밸브로서, 유압 펌프에 의해 발생된 유압력은 펌프의 최대 토출압력까지 상승하여 유압 장치가 파손될 수 있다. 따라서 릴리프 밸브는 이러한 과부하 방지 및 회로 압력을 일정하게 유지하여 유압 모터의 토크 및 실린더의 추력을 제어하는 밸브로서, 본 연구에서는 Vent port를 사용함으로써 압력의 원격제어 및 언로드 회로가 가능하며, 정격 유량이 분당 170 ℓ가 되고, 압력 조정범위가 35~250 kgf/cm²로 설정될 수 있으며, 압력회로의 최고 압력을 제어하고 안전창의 역할도 가능한 밸런스 피스톤형 릴리프 밸브를 사용하였다.

이러한 릴리프 밸브에서의 압력 조정은 로크너트를 풀고 핸들을 우로 돌리면 압력이 상승하고 좌로 돌리면 하강하도록 구성되어 있다.

다. 유압 펌프

유압 펌프(Hydraulic pump)는 오일을 고압화시켜 기계적인 회전운동을 유압동력으로 변환하는 기능을 하는 펌프로서, 본 연구에서는 펌프 1회전당 가할 수 있는 용적 또는 일정 회전속도로써 얻을 수 있는 펌프의 토출량을 나타내는 펌프용량을 40.0cc/rev, 설계 기초인 수명에 기본하여 연속 운전할 수 있는 최고 압력인 정격압력은 175kgf/cm², 강도상 안전하게 운전할 수 있는 압력인 최고압력은 210 kgf/cm², 회전수는 최대 회전속도 2,500rpm, 정격 회전속도 300rpm, 분당 최대 토출량 160 ℓ가 되도록 구성하였다.

라. 유압 모터

유압 모터(Hydraulic motor)는 유압 펌프에서 만들어진 유압 동력을 기계적인 회전동력으로 변환하는 것으로, 펌프와 반대의 기능을 갖고 있지만 구조에는 큰 차이가 없으며, 본 연구에서는 펌프의 설계 기초인 수명에 기본하여 연속 운전할 수 있는 최고 압력인 정격 압력은 210kgf/cm^2 , Surge 압력을 포함한 일시적인 압력상승의 경우에도 강도상 안전하게 운전할 수 있는 압력인 최고 압력은 250kgf/cm^2 , 회전수는 최대 회전속도(140kgf/cm^2)가 500rpm, 정격 회전속도 290rpm, 토오크는 정격일때 $15\text{kg}\cdot\text{m}$, 최대일 경우 $184\text{kg}\cdot\text{m}$, 정격 출력 46kW가 되도록 구성하였다.

마. 콘트롤 밸브

콘트롤 밸브(Control valve)는 액츄에이터 또는 유압 모터의 속도 변화를 주기 위해서 사용되는 밸브로서, 본 연구에서는 분당 최대 유량을 120ℓ, Wrench 조정범위를 80~120ℓ/min, 설계 기초인 수명에 기본하여 연속 운전할 수 있는 최고 압력인 정격 압력은 210kgf/cm^2 가 되도록 각각 구성하였다

3. 투양묘기의 설치 위치 결정

투양묘기는 그 자체 무게가 1톤을 상회하므로 투양묘기의 설치로 선박의 안전에 지장을 초래할 우려가 있다. 따라서 투양묘기의 무게 및 설치 위치에 따른 선박의 횡경심의 부심상 높이, 기선상 횡경심의 높이, 선수 흘수의 변화, 선미 흘수의 변화, 경사도 등의 산출은 매우 중요하다. 따라서 1차년도 시작품을 설치하여 선박 안전상의 문제를 조사한 결과 문제가 없음을 알 수 있었으므로 One-drum형 투양묘기를 설치하였던 길양호의 선수부에서 15m 떨어진 위치에 배의 중심선을 기준으로 우현에 Two-drum형 투양묘기 본체를, 좌현에 유압 탱크를 각각 설치하여 좌우 균형이 맞도록 설치하였다(사진 4-6).

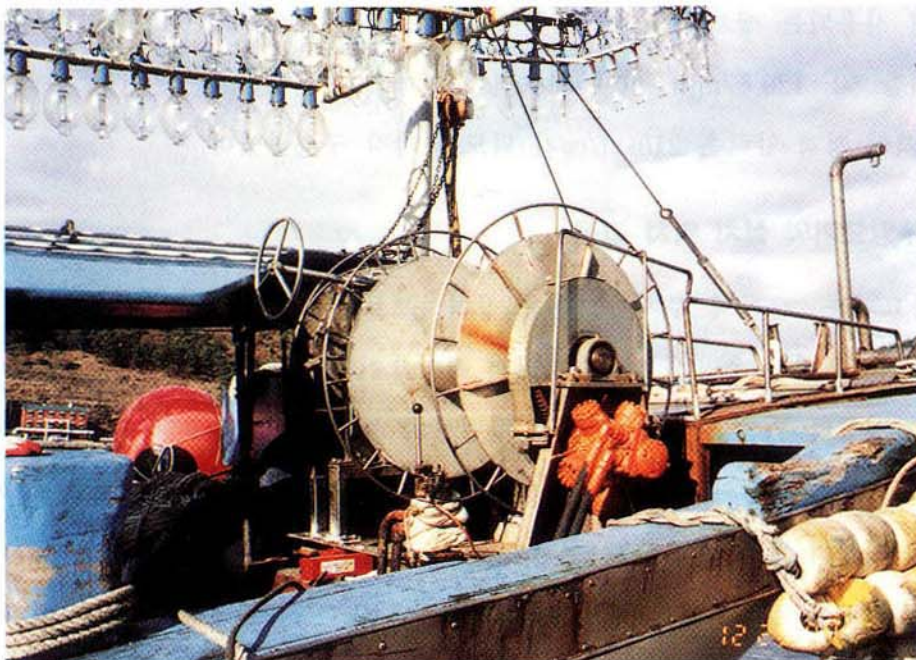


Photo. 4-6. Sea anchor winch with Two-drum.

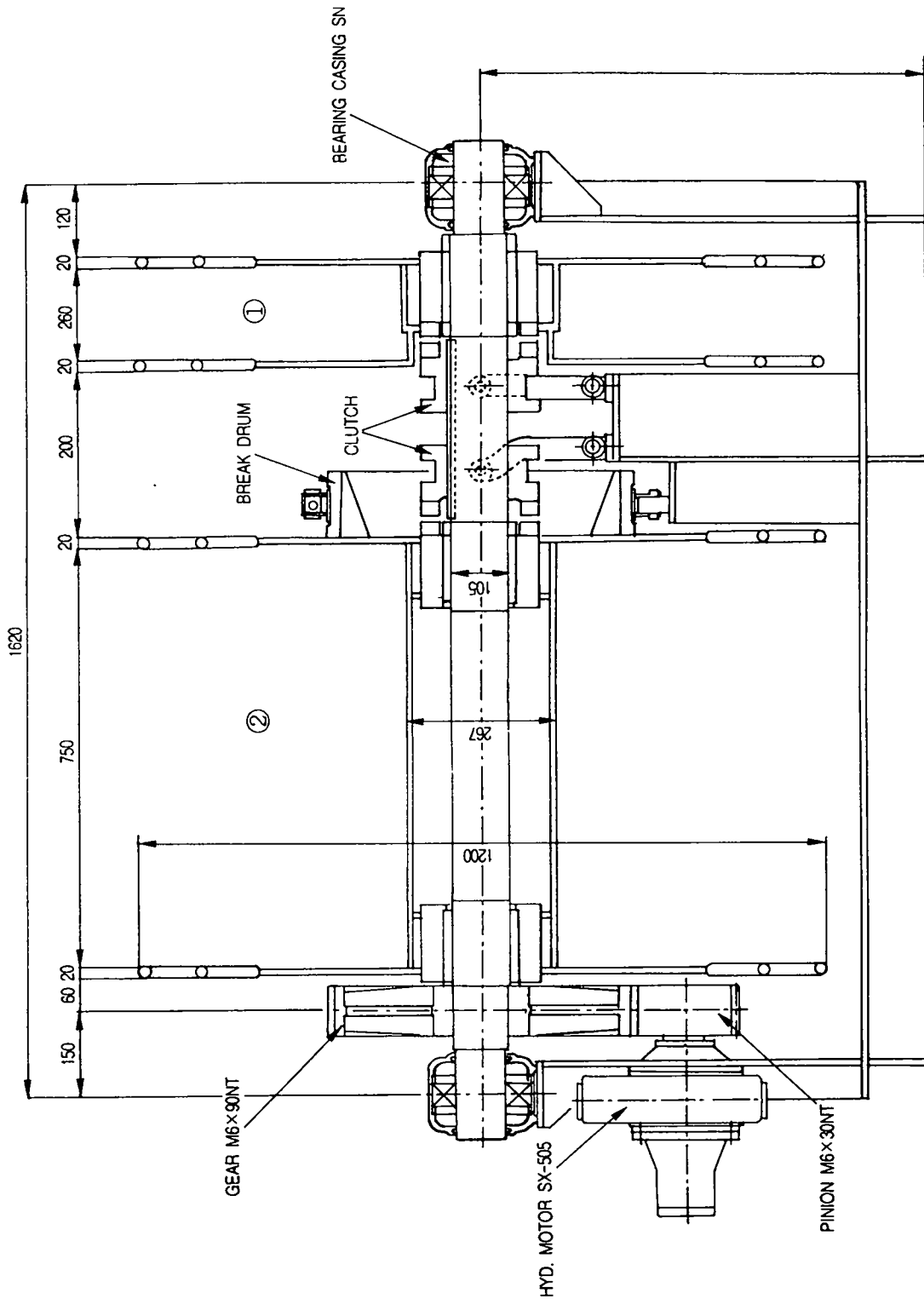


Fig. 4-10. Schematic drawing of sea anchor winch with Two-drum.

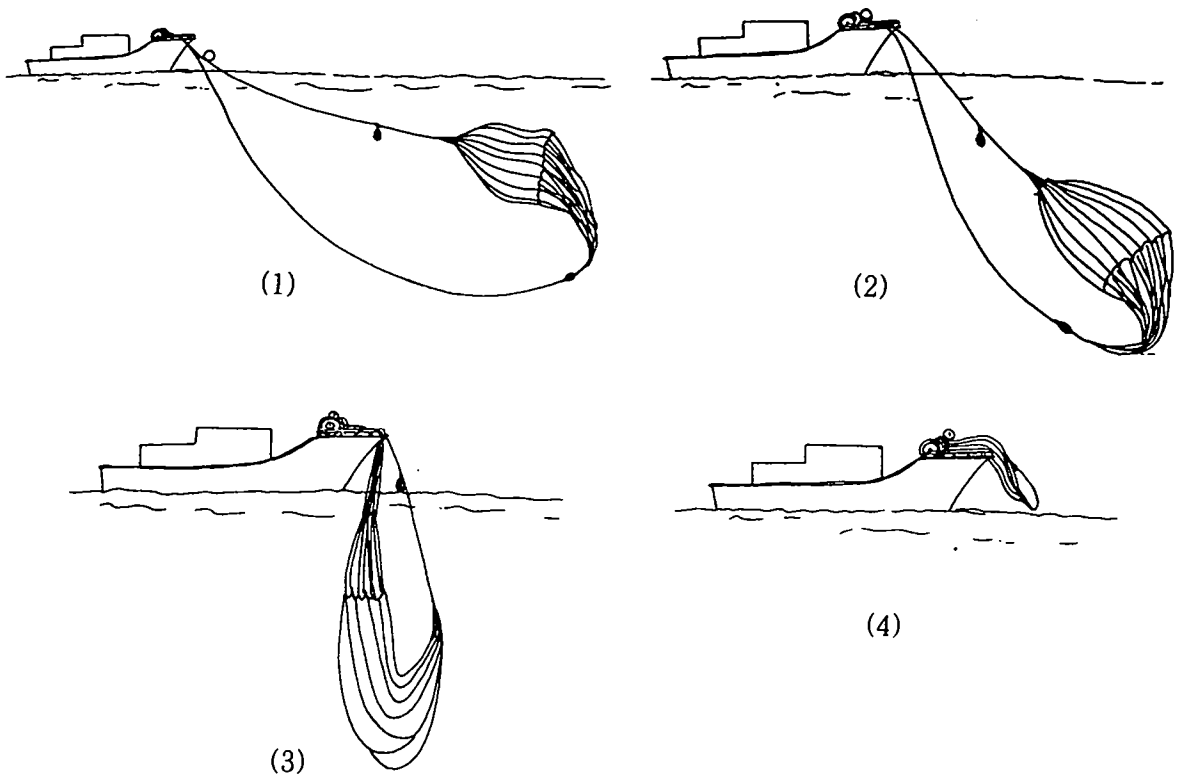


Fig. 4-11. Hauling operation of sea anchor by sea anchor winch with Two-drum.

- (1) Lifting hauling line
- (2) Lifting buoy line and anchor line
- (3) Lifting sinker, suspension line
- (4) Lifting canopy

4. Two-drum형 투양묘기 운용 방법

물뚝의 배잡이줄은 제 2드럼에 연결되며, 양묘줄은 제 1드럼에 연결된다. 물뚝을 사용하지 않는 상태에서는 물뚝은 배잡이줄, 연줄, 본체 및 본체에 연결된 물구멍 줄의 일부가 기재한 순서대로 제 2드럼에 감겨져 있으며, 양묘줄 및 추는 제 1드럼에 감겨지게 된다.

물뚝을 수중으로 투하할 때, 투양묘기를 구동하는 유압 모터의 작동이 멈춘 상태에서 제 2드럼과 제 1드럼에 연결된 클러치를 분리한다(사진 4-7). 그 후 배를 후진하면서 물뚝의 추를 가장 먼저 수중으로 투하한다. 그러면 추의 자중에 의해 추와 연결된 부표줄과 그 부표줄에 연결된 부표 및 물뚝 본체가 연이어 수중으로 투하된다. 계속해서 물뚝 본체에 연결된 연줄 및 그에 연결된 배잡이줄과 양묘줄의 나머지 부분이 제 1드럼과 제 2드럼으로부터 풀려나간다.

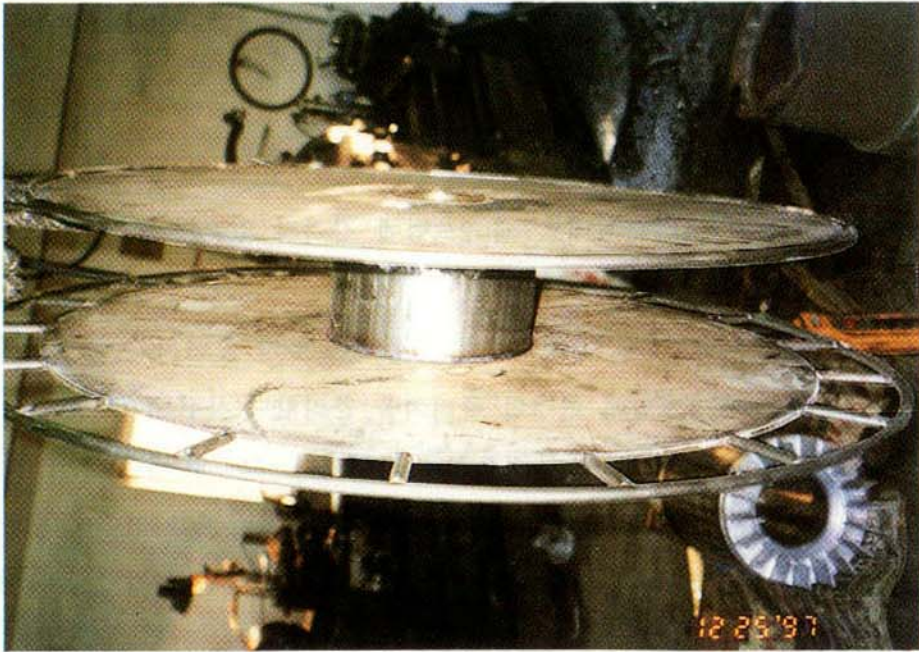
물뚝을 양묘할 경우, 유압 모터가 유압 펌프로 펌핑한 유체에 의해 구동되어 회전력을 발생시킨다. 유압 모터에 의해 발생된 회전력은 유압 모터의 Shaft에 장착된 피니언과 권양 Shaft에 장착된 스퍼어 기어를 통해 권양 Shaft에 전달된다.

이 때 Shaft에 전달된 회전력을 제 1드럼이나 제 2드럼에 전달하기 위해서는 클러치 조작 레버로 클러치 본체를 제 1드럼의 클러치 치부와 결합시키거나, 클러치 본체를 제 2드럼 클러치 치부와 치합한다.

Shaft 회전력을 제 1드럼 및 제 2드럼 모두에 전달하기 위해서는 각각의 클러치 조작 레버로 각각의 클러치 본체를 제 1드럼과 제 2드럼의 클러치 치부와 모두 결합한다.

따라서 클러치를 통해 Shaft와 연결된 제 1드럼 또는 제 2드럼만 Shaft와 함께 회전하든가 또는 제 1 및 제 2드럼 모두가 Shaft와 함께 회전하게 된다.

그 결과 제 2드럼에 연결된 배잡이줄과 제 1드럼에 연결된 양묘줄이 각각 제 2드럼과 제 1드럼에 동시에 감기게 되고, 이어서 배잡이줄에 연결된 연줄과 본체



(a) First drum



(b) Clutch

Photo. 4-7. First drum and clutch of sea anchor winch with Two-drum.

가 순서대로 제 2드럼에 감기게 된다. 따라서 물뿔이 완전히 양묘되면 추는 제 1드럼과 제 2드럼 사이에 위치하게 되므로써 양묘작업이 완료되며, 다음 투묘시 제 1드럼과 제 2드럼 사이에 위치하고 있는 추만을 투하하고 배를 후진시켜 주므로써 유속에 의한 힘과 배를 후진시킬 때 발생하는 후진력에 의해 별도의 작업이 필요없이 자연스럽게 투묘가 완료된다.

5. 해상 성능시험

2차년도에 개발된 Two-drum형 투양묘기를 사용하여 해상 성능시험(사진 4-8)을 실시한 결과는 <표 4-1>과 같다. Two-drum형 투양묘기를 사용할 경우, 양묘시에는 인력을 투입하여 연줄 등을 정리할 필요가 없으며, 양묘 후에도 다음 투묘를 위해 인력으로 물뿔을 정리할 필요가 없다

또한 2개의 드럼을 이용하여 각각의 드럼을 단속적으로 작동시킬 수 있으므로 물뿔을 양묘하는 동안 각각의 드럼에 감기는 배잡이줄이나 양묘줄 등이 감기는 상태에 따라 제 1 및 제 2드럼의 작동 상태를 클러치에 의해 조절할 수 있다는 장점이 있다.

따라서 Two-drum형 투양묘기는 인력을 사용하지 않고도 물뿔을 용이하게 투양묘할 수 있고, 대형 선박 뿐만 아니라 소형 선박에서도 사용할 수 있는 장점이 있음을 알 수 있었다. 이와 함께 투양묘작업시 1명은 조타실에, 1명은 드럼 조작, 1명은 Guide roller에 위치하여 부자를 분리·결합해주는 역할만을 담당하므로써 3명의 인원으로도 충분히 작업을 수행할 수 있음을 입증하였다.

또한 Guide roller에 위치하여 부자의 분리·결합을 담당하는 인원도 생략하고 드럼 운용자 혹은 선장이 때때로 그 역할을 담당하는 것이 가능하다는 것이 입증되어 최소 2명의 인원으로 투양묘작업이 가능하므로, 기존의 30톤급 오징어 채낚기 어선에서의 작업인원은 종래 6~7명이 소요되던 작업을 2~3명이 작업을 할 수 있어, 50~71%의 인력절감 효과를 얻을 수 있었다.

또한 30톤급 오징어 채낚기 어선에서의 양묘 소요 시간도 수동으로 양묘하는



Photo. 4-8. Sea trials of sea anchor winch with Two-drum.

경우 20분이 소요되었으나, One-drum형의 경우 13분, Two-drum형일 때 8분의 작업시간이 각각 소요되어 수동조업시와 비교하면 60%, One-drum형 투양묘기를 사용할 때와 비교하면 38%의 시간절약 효과를 얻을 수 있어, Two-drum형 투양묘기의 경우 그 작업공정의 편리함과 안정성 및 경제적 측면에서 그 효과가 충분히 입증되었다(표 4-2).

그러나 해황이 거친 경우에는 양묘시 물돛 내부에 물이 고임으로써 양묘가 곤란하고, 물돛의 파손 우려가 있는 등 문제점을 내포하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이런 경우에는 One-drum형 투양묘기에 의한 양묘 방법 중 Side drum을 사용하여 양묘하는 배잡이줄 및 추는 제 1드럼으로 양묘하고, 양묘줄, 본체, 연줄 등은 제 2드럼에 감는 One-drum형 투양묘기의 양묘 방법을 변형하여 실험한 결과, One-drum형에 비해 편리하게 투양묘작업을 할 수 있었으므로 동 방법의 채택도 필요하다고 생각된다.

Table 4-1. Number of operators according to hauling methods

Tonnage groups	No. of operators		
	Traditional method	Sea anchor winch with One-drum	Sea anchor winch with Two-drum
30 ton class	4 (6~7)	3 (4)	2 (3)
50 ton class	5 (7~8)	3 (5)	2 (4)
70 ton class	6 (8~10)	3 (6)	2 (6)
100 ton class	6 (11~15)	3 (7)	2 (7)

() : Total number for squid jigging operation

Table 4-2. Operation time according to lifting methods in 30tonnage class fishing boats

(Unit : min.)

Traditional method	Sea anchor winch with One-drum	Sea anchor winch with Two-drum
20	13	8

여 백

제 5 장 결 언

최근 들어 수산물 수입개방과 UN에 의한 책임있는 어업에 대한 행동지침의 시행 등과 같은 외적인 요인과 함께 연근해 어장의 오염과 남획에 의한 자원고갈 현상이 심화되면서 우리나라 연근해 어업의 국제 경쟁력 확보가 시급한 현안 문제로 대두되고 있다. 오징어 채낚기 어업은 우리나라 연근해 주요 어업 중 하나로 국제 경쟁력을 높이기 위하여 조업 과정의 생력화가 진행 중이다.

오징어 채낚기 어선의 주요 어로 장비인 물뚫은 조업 중 어선이 조류의 흐름과 비슷한 속도로 흘러가게 하여 조획작업을 용이하게 함과 동시에 오징어 어군을 선저의 음영부에 오래 머물도록 하며, 황천중에는 선박의 안전성을 확보해 주는 필수적인 장비이다. 그러나 물뚫의 개량과 인력을 절감할 수 있는 투양묘 방법의 기계화에 대한 연구는 제대로 이루어지지 못하여 동 어업의 효율적인 조업과 경쟁력 제고에 걸림돌이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 오징어 채낚기 어업에 사용되는 물뚫의 역학적 특성 구명 및 개량을 위하여 형상이 다른 수 종의 물뚫을 설계·제작하여 모형 및 해상실험을 하였고, 물뚫의 투양묘 작업에 필요한 인력의 절감을 위하여 투양묘기를 설계·제작, 상업용 채낚기 어선 길양호(29톤)를 시험선으로 하여 해상 실용화 실험을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 물뚫의 역학적 특성 구명과 개량에 필요한 기초지식을 얻기 위하여 흐름의 수치해석 기법을 사용, 2차원 원호형 물뚫 주위의 유동장을 시뮬레이션하여 형상별 유체역학적 특성을 해석하였다. 그 결과, 시간변화에 따라 항력계수는 거의 일정하나 양력계수는 칼만 와의 영향으로 주기적으로 진동한다.

2. 모형실험에서 물뚫의 전개효율은 원추형에 비하여 반구형이 좋으며, 배수구의 직경은 입구 직경의 약 10% 정도, 연줄의 길이는 직경의 약 2배로 하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

3. 모형의 형상을 원추형, 나팔형, 낙하산형으로 한 경우 물뚝의 전개성능은 낙하산형이 원추형이나 나팔형에 비해 전개성능이 우수하고 설계직경에 대한 높이의 비가 클수록 전개성능이 향상되는 것을 알 수 있었다.

4. 물뚝 연출의 구조를 망목형으로 하였을 경우, 종래의 직선형에 비하여 전개 성능이 좋아지며 연출의 꼬임을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 직경 20.6m인 원추형($\theta = 50^\circ$) 물뚝의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비는 각각 0.16~0.31(평균 0.231) 및 0.60~0.82(평균 0.74)였고, 직경 20.6m인 반구형의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비는 각각 0.12~0.25(평균 0.18) 및 0.60~0.92(평균 0.80)이었으며, 직경 25.9m인 상업용 물뚝의 항력계수 및 설계직경에 대한 전개직경의 비는 각각 0.11~0.30(평균 0.18) 및 0.57~0.79(평균 0.67)이었다.

6. 물뚝 투양묘기의 장력은 안전사용율을 고려하여 1톤, Torque는 350kg·m로, 양묘속도는 18.20rpm로 제작하였다.

7. One-drum형 투양묘기는 기계적, 전기적, 유압적 측면에서의 문제점은 도출되지 않고 정상적으로 작동되었으며, 동급 어선의 작업인원 6~7명을 4명으로 2~3명 감축 가능하여 33~43%의 인력 절감효과를 얻을 수 있었다. 그러나 다음 투묘를 위해서는 투양묘기 드럼의 가장 안쪽에 감겨 있는 추를 밖으로 꺼내기 위해 물뚝을 드럼에서 풀어내야 하는 번거로움이 있었다.

8. 2차년도에는 개량된 Two-drum형 투양묘기를 제작하였는데 원치 형태의 적정성, 원격제어 콘트롤 면에서 One-drum형보다 우수한 것으로 나타났으며, 작업 인력을 6~7명에서 3명으로 줄여 50% 이상의 인력절감 효과를 거두었고 작업시간도 수동의 20분에 비해 개량형은 8분이 소요되어 60% 단축되었다.

참 고 문 헌

- Inamuro, T. Saito, T. and Adachi, T., 1984 "A Numerical Analysis of Unsteady Separated Flow by the Discrete Vortex method Combined with the Singularity method," Computer & Structure, Vol.19, No.1-2, pp. 75~84.
- Iversen H. W. and R. Balent(1951) : A correlating modulus for fluid resistance in accelerated motion. J. Appl. Phys., 22(3), 324~328.
- Sarpkaya, T., 1986, "An Analytical Study of Separated Flow about Circular Cylinders," Trans. of the ASmE, J. of Basic Engineering, Vol.90, pp. 511~518.
- Seto M., C. Itosu, and M. Nakamura(1991) : Study on unsteady force generating the wake behind a body immersed in viscous fluid. Nippon suisan Gakkaishi, 57(2), 201~207.
- Sung, H. T., Kim, Y. N. and Hyun, J. m., 1994, "Discrete Vortex Simulation of Pulsating Flow Behind a Normal Plate," Trans. of the ASmE, J. of Fluids Engineering, Vol.116, pp. 862~869.
- Tsutahara, m., Kimura, T. and Ro, K. D., 1989, "Unsteady Pressure and Force in the Discrete Vortex mehtods," Trans. of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 32, No.97, pp. 129~142.
- 權炳國(1993) : 展開板의 流體力學的 特性에 관한 研究, 부경대학교 박사학위논문.
- 吉永崇(1992) : 剝離を伴う物體の一自由度非線型角運動. 數理科學, 340, 76~78.
- 김극천 등(1982) : 조선학 개론. 문운당, 201~217.
- 김대안, 고관서(1987) : "어구학", 교문출판사, 서울, pp. 343~345.
- 金田禎之(1992) : 總合水産辭典, 225.

- 노기덕(1993) : "Weis-Fogh형 선박 추진기구의 개발 (유동장의 가시화 및 수치해석)", 大韓機械學會論文集, 第17卷, 第2號, pp. 426~437.
- 노병준, 박종호(1992) : "유체역학", 동명사, 서울, pp. 372.
- 농림수산부(1991-1997) : 농림수산통계연보
- 稻田博史, 小倉通男(1988) : イカ釣漁業における集魚燈の變化, 東京水大論集, 24, 189~207.
- 牧野光雄(1995) : 航空力學の基礎(第 2版), 産業圖書株式會社, 東京, 181~191.
- 小倉通男(1983) : イカ釣漁業における集魚燈の移り變わり, 水産世界, 32(10), 60~64.
- 野村正恒, 森敬四郎, 田原陽三, 大尺要一(1967) : 潮帆の水中抵抗, 東海水研報 52, 49~74.
- 鈴木恒由, 稻田博史, 飯田浩二, 赤羽光秋(1985) : スルメイカ集魚燈の笠による光の有効利用にいて, 北大水産彙報, 36(2), 69~77.
- 이병기, 박승원, 김진진(1983) : 연근해 어업개론, 태화출판사, 부산, PP. 112~116.
- 長谷川英一, 小林裕(1989) : 水中下における魚類の好適照度選擇遊泳軌跡の推定, 日水誌, 55(10), 1707~1714.
- 장지원(1983) : 어업기기학, 146-179
- 조태현 등(1989) : "현대한국어구도감", 국립수산진흥원, 경남, pp. 89-91.
- 하만훈(1995) : 기초 유압이론, 75-90

위탁연구과제

Sea Anchor의 유체역학적 특성에 관한 연구

A Study on the Hydrodynamic Characteristics
of Sea Anchor

연구책임자 : 김 진 건
연구 원 : 권 병 국
 노 기 덕
 강 남 중
 아 동 근
 정 기 철
 김 인 진

부경대학교 수산과학연구소

여 백

요 약 문

I. 제 목

Sea Anchor의 유체역학적 특성에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

연근해 채낚기 어업에 종사하는 어선은 약 6,000여척이나 되고, 조업장소는 주로 동해, 남해 및 제주 근해이며, 선원수는 30톤급 어선에서 수동으로 조획하는 경우 약 10~16명, 자동조획기로 조획하는 경우 약 6~7명인데, 최근 선원을 구하지 못하여 적기에 출어하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 대처하기 위하여 점차 자동조획기에 의한 조업으로 전환하고 있다. 따라서, 물뚫 (Sea anchor)의 투양묘 과정이 기계화될 경우 조업인원을 3~4명으로 감축시킬 수 있어 40~50%의 인력의 절감효과와 조업경비의 절감이 기대된다.

특히, 연근해 채낚기 어업에서 어획된 오징어는 대부분 활어로 소비되고 있어서 값싼 외국산 냉동 오징어에 대하여도 국제경쟁력이 높을 뿐만 아니라, 오징어의 국내수요는 매년 증가하고 있기 때문에, 생력화 사업에 의하여 개발된 어구어 법으로 조업이 이루어진다면 이 어업의 경제성은 매우 높아질 것이다. 또한 오징어는 그 수명이 1년 내외로 자연사망률이 매우 높고, 어획에 의한 자원 감소는 다른 어종과 달리 거의 없다고 볼 수 있다.

물뚫 및 투양묘기에 관한 연구는 국내에서는 아직까지 이루어진 바가 없으며, 외국의 경우 일본에서 물뚫의 수중저항(Nomura 등, 1967), Para anchor에 관한 연구(Sasaki 등, 1967) 등이 있을 따름으로 그 연구사례가 거의 없고, 특히 투양묘기에 관한 연구보고는 없다.

따라서, 우리나라 연근해 오징어 채낚기 어업에 사용되고 있는 물뚫은 유체역

학적 특성에 근거하여 설계·제작한 것이 아니며, 일반 천막사에서 경험에 의해 임의로 제작되고 있기 때문에 수중에서 전개형상이 바람직하지 못하고, 그 구조가 복잡하고 부피도 커서 취급하기가 매우 불편하다. 특히, 자동조획기를 사용하여 조업하는 경우, 수중에 부설된 낚시와 어선이 일체가 되어 유속과 같은 속도로 이동하지 않으면 조업하기가 더욱 어려운 실정이기 때문에, 최근 인력난을 극복하기 위하여 자동조획기 시스템으로 전환하는 어선의 경우에는 과학적인 근거에 의하여 제작되고 운용되는 물뚝을 원하고 있는 실정이다. 그리고, 물뚝의 투양묘 작업을 인력에 의존하고 있기 때문에 최소 6~7명의 절대인력이 소요되어 조업인력 감축이 어려운 실정이다.

우리나라의 오징어 채낚기 어업에서 사용되고 있는 물뚝은 그 형상이 긴 원추형이며, 기술적인 면의 뒷받침이 없는 상태에서 유체저항을 크게 하기 위하여 물뚝의 규모를 어선의 크기에 비하여 너무 크게 사용하고 있고, 그 재료로 천막용 캔버스를 사용하고 있어서 수중에서 그 형상이 시시각각으로 변형되며, 그 주위에서의 유체흐름 특히 와류와 같은 난류의 발생에 의하여 역학적인 균형이 깨어져서 형상의 변화는 물론이고 캔버스가 찢어지는 일까지 발생하기도 한다. 특히 이와 같은 현상에 대한 과학적인 연구를 통하여 얻어진 근거에 의하여 물뚝을 설계·제작 및 운용을 하고 있지 않기 때문에 그 전개효율이 매우 낮을 뿐만 아니라 대형의 복잡한 구조로 구성되어 있어서 취급하기가 매우 불편한 실정이다.

최근 어민수가 계속적으로 격감하고 있고, 특히 노령화 현상이 두드러지게 나타나고 있어서 선원수급이 매우 어려운 실정이고, 이를 극복하기 위해서는 생력화가 시급하지만, 앞에서 언급한 구조적인 문제점 때문에 업계에서는 생력화사업을 제대로 추진하지 못하고 있는 실정이다.

현재 업계에서 절실히 요구하고 있는 오징어 채낚기 어업의 생력화사업을 추진하기 위해서는 우선적으로 물뚝의 유체역학적인 특성을 파악하고, 이를 근거로 크기는 보다 소형이면서 성능은 보다 우수한 물뚝의 개발이 이루어져야 할 것이고, 동시에 합리적인 투양묘 방법을 도출하고 이를 수행하기 위한 투양묘기의 개

발이 이루어져야 할 것이다.

그런데 이러한 설계지침의 기본 틀은 물뚝에 대한 유체역학적인 면에서의 심도 깊은 연구과정을 통해서 얻어질 수 있는 것이며, 그 연구는 유속에 따른 물뚝의 유체저항 및 변형은 물론이고, 물뚝 주위에서의 유체흐름의 패턴 특히 와(渦)의 발생과 같은 난류현상과 후류(wake) 영역 등에 대하여 역학적 특성실험과 가시화실험을 통하여 자연현상을 규명하고, 동시에 수치시뮬레이션을 통하여 얻어진 실험자료에 대한 유체역학 및 구조역학적인 면에서의 신뢰성을 실증하는 방법으로 진행해야 할 것이다.

이러한 연구를 통하여 얻어진 자료를 기초로 하여 물뚝의 설계지침을 마련하고, 나아가 합리적인 투양묘법 및 투양묘기를 설계하여 시스템을 이룬다면 우리 업계의 기술 수준은 크게 향상될 것이고, 동시에 인력감축으로 인한 조업경비의 절감과 어획효율의 증대효과에 힘입어 그 경제성이 크게 증대될 것이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발사업의 최종목표는 “고성능 물뚝 및 인력절감형 투양묘기의 개발”이며, 위탁연구사업에서는 고성능 물뚝을 개발하기 위하여 ① 현용 물뚝과 투양묘기의 구조 및 성능을 현지조사 및 시험으로 충분히 파악하고, ② 이를 토대로 물뚝의 형상요인을 규명한 후, 모형을 설계·제작한다. ③ 현용 물뚝, 개발형 물뚝의 모형에 대하여 유체역학적 특성을 규명하기 위하여 역학적 특성실험, 가시화 실험과 같은 모형실험을 실시한다. ④ 물뚝 주위에서의 유체역학적 특성을 규명하기 위한 시뮬레이션을 실시한다.

⑤ 모형실험과 시뮬레이션을 통하여 보다 성능이 우수한 물뚝의 형상을 도출하고, 그 설계지침의 기초자료를 제공하는데 있다.

본 위탁연구사업에서는 우리나라, 일본 및 대만에서 사용하고 있는 물뚝의 구조조사를 실시하여 그 차이점과 예상되는 성능의 차이를 조사함과 동시에 모형의

형상요인을 도출하고, 어민들과의 설문 및 청취조사를 통하여 현용 물돛의 문제점을 파악한 후, 모형 물돛을 설계·제작하였다.

물돛의 성능에 미치는 요인으로는 형상(기본구조), 몸체 입구의 직경에 대한 길이의 비, 연줄구조 및 길이, 배수구의 크기 등으로 분석되었다. 이에 따라서 모형의 제작은 원추형, 나팔형, 낙하산형의 3종의 형상에 대하여 몸체 입구의 직경에 대한 길이의 비가 0, 0.2, 0.4, 0.6가 되도록 하여 총 12개의 모형을 제작하였다.

모형실험은 수조의 폭과 수심이 2m, 1.2m인 수직순환형 회류수조에서 실시하였고, 역학적 특성치는 삼분력계 및 로드셀로써 계측하였으며, 수중형상과 가시화 실험의 유체흐름은 디지털타이저로써 직접 계측하거나, 사진 및 비디오의 영상으로써 그 전개형상 및 크기를 계측하였다.

실험의 내용은 총 12종의 모형에 대한 형상실험, 연줄길이별 역학적 특성실험, 연줄의 구조별 역학적 특성실험, 배수구의 크기별 역학적 특성실험을 실시하였다. 또한, 모형의 크기에 따른 오차의 정도를 조사하기 위하여 설계직경이 300, 600mm로 각기 다른 모형에 대하여도 실험을 실시하여 그 결과를 분석하였다.

수치시뮬레이션은 물돛 주위에서의 유체흐름 및 물돛의 역학적 특성치를 유체역학에 근거하여 수치적으로 해석하기 위하여 해석모델을 설정하고 시뮬레이션하여 얻은 결과를 모형실험의 결과와 비교하여 그 타당성을 조사하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구사업에서는 모형실험과 시뮬레이션을 통하여 보다 성능이 우수한 물돛의 형상을 도출하고, 그 설계지침의 기초자료를 제공하는데 있다.

고성능 물돛을 개발하기 위하여 현용 물돛의 구조 및 성능을 현지조사 및 시험으로 충분히 파악하고, 이를 토대로 물돛의 형상요인을 규명한 후, 설계·제작한 물돛의 모형에 대한 유체역학적 특성을 규명하기 위하여 역학적 특성실험, 가시화실험과 같은 모형실험을 실시하였다. 그리고 물돛 주위에서의 유체역학적 특성

을 규명하기 위한 시뮬레이션을 실시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

물뚫의 형상은 낙하산형이 현용 원추형이나 나팔형보다 그 전개성능이 우수하고, 몸체 입구의 설계직경에 대한 몸체의 수직길이의 비가 클수록 전개성능이 향상되는 것을 알 수 있었는데, 그 형상 및 규모는 설계직경에 대한 수직길이의 비가 0.6-0.7 정도인 낙하산형의 것을 제안한다. 연줄길이가 길수록 전개성능은 좋아지나 줄의 꼬임이 커지는 관계로 연줄길이는 설계직경의 2배 정도의 길이를 사용하는 것이 바람직하리라 여겨진다. 연줄의 구조는 기존과 같이 여러 가닥의 긴 연줄구조보다는 4-8-16가닥의 망목형구조를 사용하더라도 그 전개성능은 거의 같거나 다소 향상되며, 줄의 꼬임현상은 전혀 발생하지 않았다. 배수구의 크기는 현재의 것보다 약 20% 크게 하는 것이 안정성은 좋아지고, 성능에서도 거의 차이가 없다.

이러한 점들을 만족시킨다면 그 전개성능은 기존의 펼칠시 원이 되는 것의 약 2.5배, 원추형의 것의 약 1.4~1.5배 정도 향상될 것이다.

이상에서 얻어진 고도화된 설계기술 및 실험 테이타를 민간기업에 이전시킴으로서 업계의 기술수준이 크게 향상될 것이다. 따라서 물뚫 및 투양묘 자동화 시스템에 대한 기술축적을 통한 노동력의 절감 효과와 그 사용의 편리성에 기인하여 어민들의 어업경비의 절약과 어업소득의 증대에 크게 기여할 것이다. 이를 위한 어민 및 산업체의 의식화를 위한 설명회 개최가 있어야 할 것이고, 기술이전과 산업화에 대한 정부지원이 뒷받침되어야 할 것이다.

여 백

SUMMARY

A series of model experiment on the efficiency of sea anchor was carried out to determine the most effective shape factor. Also, the computational analysis by the discrete vortex method is carried out to find the analytic model for the hydrodynamic characteristics of the sea anchor.

The obtained results can be summarized as follows:

1. Opening efficiency, such as opening area, drag and C_D , of the sea anchor depending upon the shape factor shows the greatest in case of the parachute, and gets smaller in the order of the cone shaped, horn shaped one.

2. Opening efficiency of sea anchor depending upon b/a shows the greatest at 0.6 of b/a , and gets smaller in order of 0.4, 0.2 of b/a .

3. Opening efficiency depending upon the length of pendants increases as the length of one does, and the values of drag and C_D of the sea anchor with 1.8m of the pendant length are greater 15% or so than that of the one with 0.8m.

4. On the structure of pendants, opening efficiency of the netting structure, N4, is greater than that of the original one.

5. On the size of the drain-hole, opening efficiency of the sea anchor is about the same when the diameter of drain-hole is within 20~60mm.

6. On the vortex and separation, they begin to be generated disorderly in edges of sea anchor, and the separation zone is widely located in the wake of sea anchor. Water mass of turbulence is generated inside the sea anchor because of the hydrodynamic pressure from water flow, and the water is overflowed outside the edge of sea anchor when the mass become bigger as the pressure increases.

여 백

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	107
Section 1. Background	107
Section 2. Object	109
Chapter 2. Analysis of the existing sea anchor	111
Chapter 3. Model test of the sea anchor	113
Section 1. Design and manufacture of the model sea anchor	113
Section 2. Materials and method	114
1. Item of the model test	114
2. Experimental set-up and method	115
Section 3. Results and discussions	123
1. Opening efficiency depending upon the shape factors	123
1) Shape and b/a ratio	123
2) Length of the pendant	140
3) Structure of the pendants	143
4) Size of the drain-hole	147
2. Opening efficiency depending upon the size of models	150
3. Visualization test	152
Section 4. Abstract	157
Chapter 4. Fluid dynamic computation for sea anchor	159
Section 1. Introduction	159

Section 2. Computational method	160
1. Analytical model and boundary condition	160
2. Lift, drag and dynamic coefficients	162
Section 3. Results and discussions	163
Section 4. Conclusions	168
Chapter 5. Analysis for hydrodynamic forces acting on the sea anchor ...	169
References	173
Appendix. Program on the fluid dynamic computation for sea anchor	175

목 차

제 1 장 서 론	107
제 1 절 연구배경	107
제 2 절 연구목적 및 범위	109
제 2 장 현용 물뚝의 분석	111
제 3 장 모형실험	113
제 1 절 모형 물뚝의 설계 및 제작	113
제 2 절 재료 및 방법	114
1. 모형실험의 항목	114
2. 실험장치 및 방법	115
제 3 절 결과 및 고찰	123
1. 본체의 형상유형별 모형실험	123
가. 형상 및 b/a비에 따른 전개성능	123
나. 연줄의 길이에 따른 전개성능	140
다. 연줄의 구조에 따른 전개성능	143
라. 배수구의 크기에 따른 전개성능	147
2. 모형 규모에 따른 전개성능	150
3. 가시화실험	152
제 4 절 요약	157
제 4 장 물뚝 주위의 유동장 특성계산	159
제 1 절 서 론	159

제 2 절 계산방법	160
1. 해석모델 및 경계조건	160
2. 양력, 항력 및 특성계수	162
제 3 절 계산결과 및 고찰	163
제 4 절 결 론	168
제 5 장 물뿔에 작용하는 유체력의 해석	169
참고문헌	173
별첨 시뮬레이션 프로그램	175

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경

연근해 채낚기 어업에 종사하는 어선은 약 6,000여척이나 되고, 조업장소는 주로 동해, 남해 및 제주 근해이며, 선원수는 30톤급 어선에서 수동으로 조획하는 경우 약 10~16명, 자동조획기로 조획하는 경우 약 6~7명인데, 최근 선원을 구하지 못하여 적기에 출어하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 대처하기 위하여 점차 자동조획기에 의한 조업으로 전환하고 있다. 따라서 물돛의 투양묘 과정이 기계화될 경우 조업인원을 3~4명으로 감축시킬 수 있어 40~50%의 인력의 절감효과와 조업경비의 절감이 기대된다.

특히 연근해 채낚기 어업에서 어획된 오징어는 대부분 활어로 소비되고 있어서 값싼 외국산 냉동 오징어에 대하여도 국제경쟁력이 높을 뿐만 아니라, 오징어의 국내수요는 매년 증가하고 있기 때문에, 생력화사업에 의하여 개발된 어구어법으로 조업이 이루어진다면 이 어업의 경제성은 매우 높아질 것이다. 또한 오징어는 그 수명이 1년 내외로 자연사망률이 매우 높고, 어획에 의한 자원 감소는 다른 어종과 달리 거의 없다고 볼 수 있다.

물돛 및 투양묘기에 관한 연구는 국내에서는 아직까지 이루어진 바가 없으며, 외국의 경우 일본에서 물돛의 수중저항(Nomura 등, 1967), Para anchor에 관한 연구(Sasaki 등, 1967) 등이 있을 따름으로 그 연구사례가 거의 없고, 특히 투양묘기에 관한 연구보고는 없다.

따라서 우리나라 연근해 오징어 채낚기 어업에 사용되고 있는 물돛은 유체역학적 특성에 근거하여 설계·제작한 것이 아니며, 일반 천막사에서 경험에 의해 임의로 제작되고 있기 때문에 수중에서 전개형상이 바람직하지 못하고, 구조가 복잡하고 부피도 커서 취급하기가 매우 불편하다. 특히 자동조획기를 사용하고 조업하는 경우 수중에 부설된 낚시와 어선이 일체가 되어 유속과 같은 속도로 이동

하지 않으면 조업하기가 더욱 어려운 실정이기 때문에, 최근 인력난을 극복하기 위하여 자동조획기시스템으로 전환하는 어선의 경우 과학적인 근거에 의하여 제작되고 운용되는 물뚝을 원하고 있는 실정이다. 그리고, 물뚝의 투양묘 작업을 인력에 의존하고 있기 때문에 최소 6~7명의 절대인력이 소요되어 조업인력 감축이 어려운 실정이다.

우리나라의 오징어 채낚기어업에서 사용되고 있는 물뚝은 그 형상이 긴 원추의 모양이며, 기술적인 면의 뒷받침이 없는 상태에서 유체저항을 크게 하기 위하여 물뚝의 규모를 어선의 크기에 비하여 너무 크게 사용하고 있고, 그 재료로 천막용 캔버스를 사용하고 있어서 수중에서 그 형상이 시시각각으로 변형하며, 그 주위에서의 유체흐름 특히 와류와 같은 난류의 발생에 의하여 역학적인 균형이 깨어져서 형상의 변화는 물론이고 캔버스가 찢어지는 일까지 발생하기도 한다. 특히 이와 같은 현상에 대한 과학적인 연구를 통하여 얻어진 근거에 의하여 물뚝을 설계·제작 및 운용을 하고 있지 않기 때문에 그 전개효율이 매우 낮은 뿐만 아니라 대형의 복잡한 구조로 구성되어 있어서 취급하기가 매우 불편한 실정이다.

최근 어민수가 계속적으로 격감하고 있고, 특히 노령화현상이 두드러지게 나타나고 있어서 선원수급이 매우 어려운 실정이고, 이를 극복하기 위해서는 생력화가 시급하지만, 앞에서 언급한 구조적인 문제점 때문에 업계에서는 생력화사업을 제대로 추진하지 못하고 있는 실정이다.

현재 업계에서 절실히 요구하고 있는 오징어 채낚기 어업의 생력화사업을 추진하기 위해서는 우선적으로 물뚝의 유체역학적인 특성을 파악하고, 이를 근거로 크기는 보다 소형이면서 성능은 보다 우수한 물뚝의 개발이 이루어져야 할 것이고, 동시에 합리적인 투양묘 방법을 도출하고, 이를 수행하기 위한 투양묘기의 개발이 이루어져야 할 것이다.

그런데 이러한 설계지침의 기본 틀은 물뚝에 대한 유체역학적인 면에서의 심도 깊은 연구과정을 통해서 얻어질 수 있는 것이며, 그 연구는 유속에 따른 물뚝의 유체저항 및 변형은 물론이고, 물뚝 주위에서의 유체흐름의 패턴 특히 와(渦)의

발생과 같은 난류현상과 후류(wake) 영역 등에 대하여 역학적 특성실험과 가시화실험을 통하여 자연현상을 구명하고, 동시에 수치시뮬레이션을 통하여 얻어진 실험자료에 대한 유체역학 및 구조역학적인 면에서의 신뢰성을 실증하는 방법으로 진행해야 할 것이다.

이러한 연구를 통하여 얻어진 자료를 기본으로 하여 물뚫의 설계지침을 마련하고, 나아가 합리적인 투양묘법 및 투양묘기를 설계하여 시스템을 구성하면 우리 업계의 기술 수준은 크게 향상될 것이고, 동시에 인력감축으로 인한 조업경비의 절감과 어획효율의 증대에 따라 그 경제성이 크게 증대될 것이다.

제 2 절 연구목적 및 범위

본 연구개발사업의 최종목표는 “고성능 물뚫 및 인력절감형 투양묘기의 개발”이며, 위탁연구사업에서는 고성능 물뚫을 개발하기 위하여 ① 현용 물뚫과 투양묘기의 구조 및 성능을 현지조사 및 시험으로 충분히 파악하고, ② 이를 토대로 물뚫의 형상요인을 규명한 후, 모형을 설계·제작한다. ③ 현용 물뚫, 개발형 물뚫의 모형에 대하여 유체역학적 특성을 규명하기 위하여 역학적 특성실험, 가시화실험과 같은 모형실험을 실시한다. ④ 물뚫 주위에서의 유체역학적 특성을 규명하기 위한 시뮬레이션을 실시한다.

⑤ 모형실험과 시뮬레이션을 통하여 보다 성능이 우수한 물뚫의 형상을 도출하고, 그 설계지침의 기초자료를 제공하는데 있다.

본 위탁연구사업에서는 우리나라, 일본 및 대만에서 사용하고 있는 물뚫의 구조조사를 실시하여 그 차이점과 예상되는 성능의 차이를 조사함과 동시에 모형의 형상요인을 도출하고, 어민들과의 설문 및 청취조사를 통하여 현용 물뚫의 문제점을 파악한 후, 모형 물뚫을 설계 및 제작하였다.

물뚫의 성능에 미치는 요인으로는 형상(기본 구조), 몸체 입구의 직경에 대한 길이의 비, 연줄 구조 및 길이, 배수구의 크기 등으로 분석되었다. 이에 따라서

모형의 제작은 원추형, 나팔형, 낙하산형의 3종의 형상에 대하여 몸체 입구의 직경에 대한 길이의 비가 0, 0.2, 0.4, 0.6가 되도록 하여 총 12개의 모형의 제작하였다.

모형실험은 수조의 폭과 수심이 2m, 1.2m인 수직순환형 회류수조에서 실시하였고, 역학적 특성치는 삼분력계 및 로드셀로써 계측하였고, 수중형상과 가시화실험의 유체흐름은 디지털이저로써 직접 계측하거나, 사진 및 비디오의 영상으로써 그 전개형상 및 크기를 계측하였다.

실험의 내용은 총 12개의 모형의 형상실험, 연줄길이별 역학적 특성실험, 연줄의 구조별 역학적 특성실험, 배수구의 크기별 역학적 특성실험을 실시하였다. 또한 모형의 크기에 따른 오차의 정도를 조사하기 위하여 설계직경이 0.3, 0.6m로 각기 다른 모형에 대하여도 실험을 실시하여 그 결과를 분석하였다.

수치시뮬레이션은 물뚫 주위에서의 유체흐름 및 물뚫의 역학적 특성치를 유체역학에 근거하여 수치적으로 해석하기 위하여 해석모델을 설정하고 시뮬레이션하여 얻은 결과를 모형실험의 결과와 비교하여 그 타당성을 조사하였다.

제 2 장 현용 물뚝의 분석

현장조사를 통하여 국내 오징어 채낚기 어선에서 사용 중인 물뚝의 형상 및 규모를 조사하고, 동시에 일본 및 대만 등의 외국에서 사용 중인 것과 비교·분석하였다.

그 결과 물뚝의 형상은 원추형(cone type), 낙하산형(parachute type)의 2종이 있으며, 국내에서는 제작이 편리한 원추형의 것이 대부분이었다.

물뚝의 설계상 본체입구의 직경(a)에 대한 입구에서 배수구까지의 거리(b)의 비(b/a)는 0.1에서 0.3 정도이었는데, 어선의 크기가 클수록 즉, 물뚝의 크기가 클수록 b/a의 값은 작고(범위 : 0.15~0.25), 크기가 작을수록 크게(범위 : 0.2~0.3) 나타났다. 국가별로는 일본의 것은 0.3이 많고, 대만의 것은 0.2~0.25, 한국의 것은 0.15~0.35로 나타났는데, 이것에서 우리나라에서는 물뚝의 제작이 설계 지침에 따르거나, 전문가에 의하여 설계된 것이 아님을 알 수 있다.

그리고, 본체입구의 직경(a)에 대한 연줄길이(c)의 비(c/a)는 대형선의 경우 약 2 정도이고, 소형선의 경우 3~4 정도인데, 연줄길이가 대형선은 50~60m 정도, 소형선은 40~50m 정도로, 물뚝 본체 크기의 차이에 비하여 연줄길이는 그 차이가 매우 작았다. 연줄의 가닥수는 대형의 물뚝의 경우 30~40가닥, 소형은 18~24가닥을 사용하고 있는데, 구조적으로 볼 때 물뚝은 연줄이 많을수록 입구(연줄과 연줄 사이)에서 원호에 의한 전개손실이 작고, 연줄에 걸리는 장력이 작아져서 연줄과 본체의 연결부위의 파손위험이 감소된다는 장점이 있는 반면에 연줄의 꼬임에 의하여 수중전개상태가 나쁘게 될 위험이 증대되고, 선상에서 다루기가 어려워진다는 결점이 있다.

본체 입구의 직경(a)에 대한 배수구의 직경(d)의 비(d/a)는 0.03~0.07정도이고, 소형선의 것이 대형선의 것에 비하여 d/a값이 크다.

이와 같이 물뚝은 어선의 크기에 따라서, 나라에 따라서, 어민의 기호에 따라서

그 형상이나 규모 등이 상당한 차이를 보이고 있으며, 특히 국내 물뚫 제작회사에 문의한 결과 그 생산은 대부분 주문제작이고, 특별한 설계이론은 없으며, 관습적인 경험과 사용자의 요구에 따라서 제작이 이루어지고 있음을 확인하였다.

이상의 결과에서 물뚫의 형상요인으로는 형상, 연줄길이, 연줄구조, 배수구의 크기, 부력 및 침강력의 5가지로 보고 모형을 제작하였다.

제 3 장 모형 실험

제 1 절 모형 물뚝의 설계 및 제작

본 연구에서는 Fridman에 의하여 정리된 상사법칙을 이용하여 모형의 설계, 초기조건, 경계조건, 실험유속, 실물로의 환산 등을 실시하고자 하였다.

모형어구를 설계할 때, 우선적으로 고려할 조건들을 보면, 실험수조의 크기 및 유속분포, 어구의 여과율 또는 고품률 및 그 경계조건, 실물어구의 형상과 규모 및 그 어법 등이 있다.

그런데, 모형은 작을수록 제작이 간단하고, 실험수조의 단면적에 대한 모형의 투영면적의 비가 작아져서 실험오차가 적어진다는 장점이 있는 반면에 얻어진 실험치에 대한 계측오차 및 모형의 형상 및 움직임에 대한 재현성이 문제로 지적된다. 일반적으로 연구자들이 권장하고 있는 모형의 크기가 고품물체의 경우 실험수조의 규모에 대한 모형의 투영면적의 비를 3%, 그물의 경우 35% 정도인데, 본 연구에서는 물뚝의 경우 본체의 재질이 천이어서 수중에서 변형이 되며, 뒤쪽에 배수구가 있는 구조이므로 앞에서의 고품물체와 그물의 두 경우 모두에 해당되지 않는 관계로, 모형의 크기를 실험수조의 단면적의 약 10% 정도로 설정하였고, 이 경우 모형의 크기에 따른 실험오차가 예상되기 때문에 단면적의 3% 정도의 규모에 대하여도 실험하기로 하였다.

본 연구에서는 모형의 크기를 이러한 조건들을 고려하여 29톤급에 대하여서는 1/37, 8톤급에 대하여는 1/21의 크기로 하여 직경을 0.60m로 하였다. 물뚝은 본체의 경우 형상 및 높이/직경의 비(b/a), 연줄의 길이, 배수구의 크기에 의하여 그 성능이 좌우된다고 보고, 모형의 형상을 원추형(cone, C-type), 낙하산형(parachute, P-type), 나팔형(horn, H-type)의 3종류의 형상에 대하여 b/a 를 0, 0.2, 0.4 및 0.6의 4종류로 하여 총 12개의 모형을 제작하였으며, 본체는 16쪽으로 구성되도록 설계하였다.

이 때 나팔형의 모형은, b/a 가 0.6일 때, 전개상태의 형상에서 배수구쪽의 바깥선이 중심선과 평행이 되도록 설계하였는데, 이 경우 각 쪽의 가운데에서 6mm가 되도록 하여 원호형으로 잘라내어 나팔의 모양이 되도록 하였다. 낙하산형은 나팔형과는 반대로 각 쪽의 가운데에서 6mm가 되도록 하여 원호형으로 볼록하게 제단하여 전개시에 낙하산모양이 되도록 하였다.

그리고, 축척비에 따른 실험오차의 정도를 규명하기 위하여 본체의 설계직경이 0.3m인 것도 제작하였다.

본체의 재질은 실물과 같은 Nylon이고, 방수가 되도록 PVC 코팅한 것으로 하였다. 제작시 모형의 정확한 모양을 위하여 설계 및 제단은 컴퓨터의 CAD기법과 Laser cutting으로 하였다.

모형은 다음의 설계도에 나타낸 것과 같은 형상 및 크기로 제작하였다.

연줄은 길이 16가닥의 것을 기본형으로 하고, 길이가 1.8, 1.6, 1.4, 1.2, 1.0, 0.8m의 6종의 것을 끝단을 고리형으로 하여 본체와 연결할 수 있도록 제작하였다. 이 기본형과 함께 설계도에 나타낸 것과 같이 연줄의 구조를 16가닥-8가닥-4가닥의 형으로 줄여가되 그 길이가 0.4m-0.4m-0.4m(총길이 1.2m)인 N4형과 0.2m-0.5m-0.5m(총길이 1.2m)인 N2형을 제작하였다. 연줄은 실물에서는 땅은줄을 사용하고 있는데, 모형용으로 적합한 굵기가 가늘고, 신장율이 적은 땅은줄을 구하지 못하였기 때문에, 줄의 꼬임과 신장을 고려하여 고강력 나이론의 경심(5호)과 나이론 6합사의 꼬은실로서 제작하였다.

배수구의 크기는 직경 20mm의 것을 기본형으로 하여 40mm, 60mm의 3종류에 대하여 모형을 제작하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 모형실험의 항목

물뚝의 성능에 영향을 미치는 것으로는 모형의 형상, 연줄의 길이, 연줄의 구

조, 배수구의 크기 등과 같은 형상요인들을 들 수 있는데, 이 형상요인에 대하여 다음과 같이 항목을 구분하여 실험하였다.

모형의 형상은 Fig. 1과 같이 원추형(cone, C-type), 낙하산형(parachute, P-type), 나팔형(horn, H-type)의 3종의 형상에 대하여 b/a 의 값이 0, 0.2, 0.4, 0.6의 4종, 총 12개의 모형에 대하여, 배수구의 크기는 $\phi 20$, $\phi 40$, $\phi 60$ mm의 3종에 대하여, 연줄의 길이는 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8m 의 6종에 대하여, 연줄의 구조는 16가닥의 연줄(Proto type), Netting의 감목형 구조 2종(N4, N2) 의 총 3종에 대하여 실험유속을 0.1, 0.2, 0.3, 0.4m/sec로 변화시키면서 모형의 수중전개형상 및 움직임의 동적 특성과 저항을 측정하였다. 그리고, 모형의 크기에 따른 오차의 정도를 파악하기 위하여 앞의 실험항목의 실험결과에서 성능이 가장 우수한 것으로 나타난 b/a 비가 0.6인 낙하산형에 대하여 설계직경이 0.6m, 0.3m인 2종의 모형에 대하여도 실험을 실시하였다.

이 실험항목에 추가하여 부력 및 침강력에 따른 실험도 계획하였으나, 기초실험에서 물뚝에 걸리는 항력이 기대 이상으로 크고, 그 움직임도 회전을 하거나, 힘의 균형이 틀어지면서 좌우상하의 무작위한 이동을 하는 것으로 나타났고, 상당한 량의 소형뚝과 납추를 부착하였는데도 물뚝의 전개상태 및 안정성에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았기 때문에 그 효율성이 없다고 판단되어 실험항목에서 제외시켰다.

2. 실험장치 및 방법

상기의 실험항목별로 회류수조에서 유속을 변화시키면서 역학적 특성실험을 실시하였다.

본 연구에서 실험은 기초실험과 본실험으로 나누어 실시하였는데, 기초실험은 국립수산진흥원의 수평순환형 회류수조의 것을 이용하였고, 본실험은 백경공업사의 수직순환형 회류수조에서 실시하였다.

백경공업사의 실험수조는 Fig. 2 및 Fig. 3에서와 같이 크기가 11.600L ×

4.400H × 2.000W(mm)이고, 관측창의 크기는 3.600L × 1.200H(mm)인 수직순환형 회류수조로서, 수로의 상류측과 하류측에 저수탱크를 가지며, 2축의 축류펌프를 이용하여 하류측의 탱크에서 상류측의 탱크로 물을 이송시키고, 안내판, 정류망, 정류격자, 조파제거장치, 표층류가속장치, 컨베이어벨트 등의 정류장치에 의해서 관측용 수로내에 유속이 일정하게 흐르도록 한 것이다.

유속의 변화는 펌프를 구동시키는 모터(AC 7.5Kw)의 회전수를 인버터(Inverter)로 제어하여 변화시키며, 유속의 범위는 0~1.5m/sec이고, 관측부에서의 단면 유속의 편차는 평균유속에 대하여 ±3%이내이다.

본 실험에서 유체저항은 로드셀(Load cell, Teac, Tu-CR10k)로써, 물돛의 전개형상과 회전, 이동 등과 같은 움직임과 같은 동적 특성의 관측은 디지털타이저(Digitizer)와 VTR로써, 유속은 유속계(Kenek, VO-101A)로써 측정하였다.

역학적 특성실험은 로드셀로써 모형 물돛의 유속에 따른 유체저항을 측정하여 증폭기를 거쳐 컴퓨터에 입력하는 방법으로 실시하였고, 동시에 디지털타이저 및 VTR로써 모형 물돛의 수중전개형상 및 움직임을 측정하였다.

물돛은 수중에서 유체저항을 받게 되면, 구조적으로 입구끝단의 어디에서나 무작위적으로 흐름에 의해서 와(渦)가 발생되고, 이에 따라 후면의 흐름은 속도나 방향이 불연속성을 띠게 되고, 따라서 힘의 균형상태가 계속해서 변하게 되므로 물돛은 수중에 정지해 있지 않고, 예측불허의 회전운동, 상하좌우의 이동운동, 수축 및 확대운동(해파리의 모션과 유사한 운동)을 계속적으로 하고, 이러한 운동은 유속이 빨라질수록 더욱 빠르고 적극적으로 이루어진다.

이에 따라 로드셀에 걸리는 장력, 즉 유체흐름의 방향과 같은 방향의 분력은 그 방향성에서 문제가 발생하므로, 물돛의 움직임을 억제하기 위하여 물돛의 후면에서 직경 5mm의 가는 알미늄 봉을 배수구에 집어넣어 움직일 때 배수구에 봉의 외측이 걸리도록 하여 움직임의 진행을 억제하였다. 이 경우 배수구 부위에는 순간적으로 천의 주름이 발생하지만 이때 봉에 전달된 힘의 성분들은 흐름과 수직성분의 분력이기 때문에 저항에는 영향이 거의 없는 것으로 판단되었다.

가시화실험은 물뚝의 요동에 의하여 대표성을 구하기 어려울 뿐만 아니라 정량적인 분석이 어렵다는 난제가 있고, 또한 실험수조의 규모가 대형이고, 구조적으로 야간실험을 하거나 수조실 전체를 암실화하기가 불가능한 관계로 최초 계획하였던 수소기포법에 의한 가시화실험은 실험의 경향을 이해하는 정도의 기초실험만을 실시하였고, 유액분사법과 3합사의 가늘고 긴 Nylon실로써 모형 주위에서의 유체흐름을 파악하고, 그 경향을 VTR과 사진기로서 촬영하여 모니터의 화면자료로 물뚝의 수중전개 및 움직임의 동적 특성 등을 분석하였다. 가시화실험은 역학적 특성실험에서와 같이 본체를 연줄로써 고정하는 방법은 모형의 이동을 억제하는 배수구쪽의 알미늄 봉이 실험에 방해가 되기 때문에 다른 방법으로 모형을 고정시켰다. 즉, 스테인레스봉(Φ3)으로 외경이 0.3m인 원형 링을 만들고, 기초실험에서 입구의 설계면적과 전개면적이 거의 같은 것으로 나타난 b/a비가 0.6인 낙하산형의 모형 P3에 대하여 모형의 본체에 이 링을 바로 연결시키고, 이 링과 수면 위의 삼분력계를 연결시켜서 역학적특성실험과 가시화실험을 실시하였다.

실험에서 얻은 유체저항 D 는 일반적으로 $D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2$ 로 나타내어지는데, 여기서 A 는 최대투영면적을 뜻한다. 그런데 본 연구의 시험 대상인 물뚝은 유속이 변함에 따라 투영면적, 즉 입구의 전개면적 A 가 변하기 때문에 시험시에 전개면적으로 측정하여야 하는데, 물뚝이 수중에서 지속적인 움직임을 보이기 때문에 측정이 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 시험시에 VTR로써 전개상태를 촬영하여 모니터 상에서 유속에 따른 전개면적의 평균치를 구하여 유속별 항력계수를 계산하였다. 그리고, 입구의 설계면적, 즉 본체의 바깥 테두리로 이루어진 원의 면적에 대하여도 항력계수를 구하였다.

또한 유체저항은 압력저항과 마찰저항의 합으로 볼 수 있고, 이 마찰저항은 물체의 표면적의 크기에 영향을 받으며, 압력저항도 표면적이 커질수록 크게 되리라 예상되어 표면적에 대하여도 그 경향을 조사하였다.



Photo. 1-1. Photography of the experimental set-up.

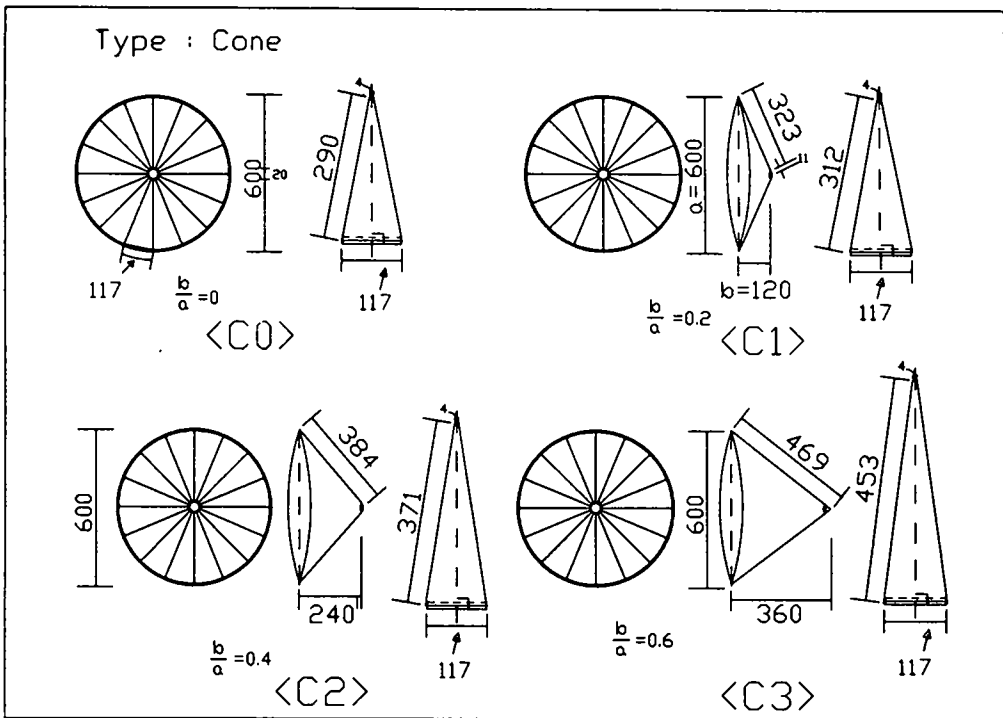


Fig. 1-1. Structure of cone shaped models with 0.6m of the mouth diameter used for the efficiency test.

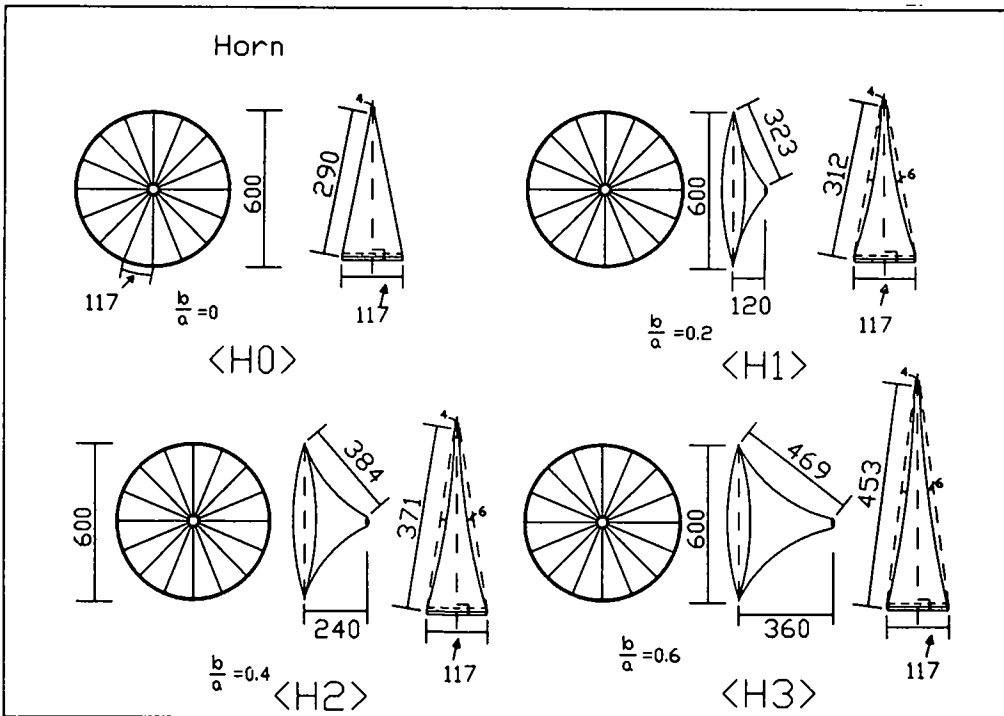


Fig. 1-2. Structure of horn shaped models with 0.6m of the mouth diameter used for the efficiency test.

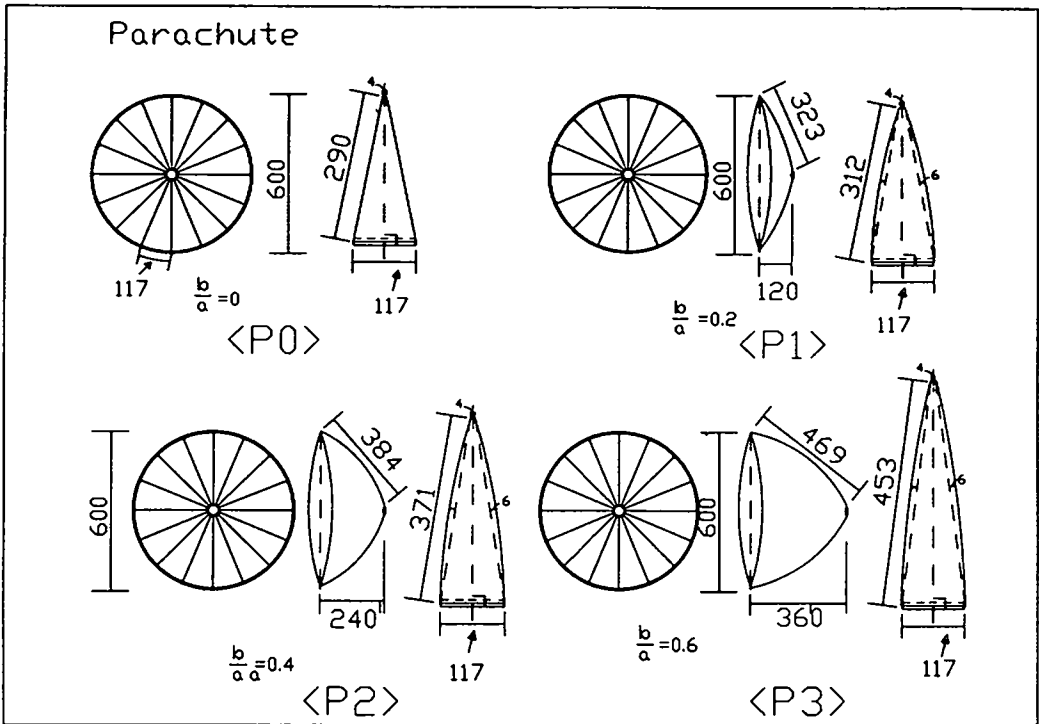


Fig. 1-3. Structure of parachute shaped models with 0.6m of the mouth diameter used for the efficiency test.

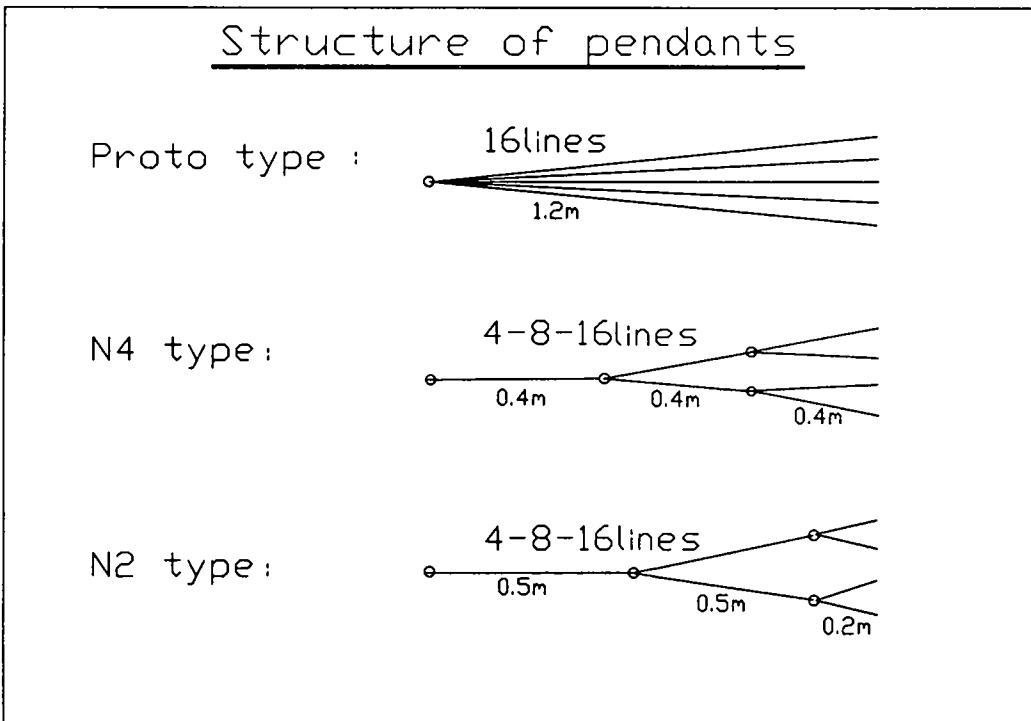


Fig. 1-4. Structure of pendants of the sea anchor with 0.6m of the mouth diameter used for the efficiency test.

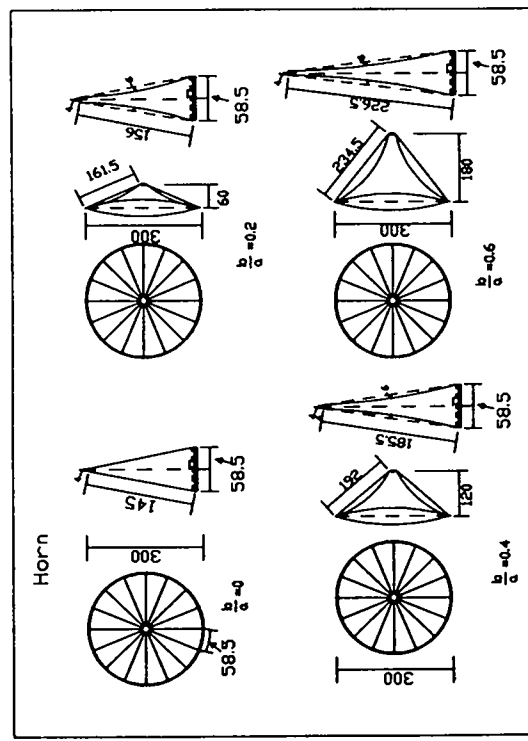
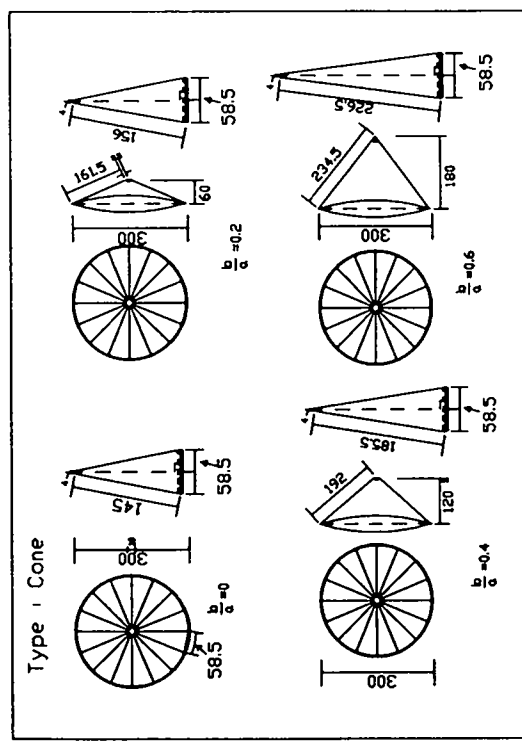
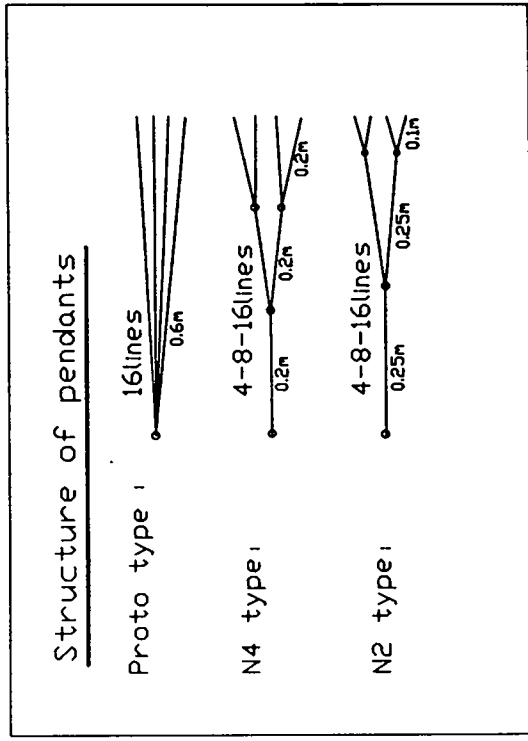
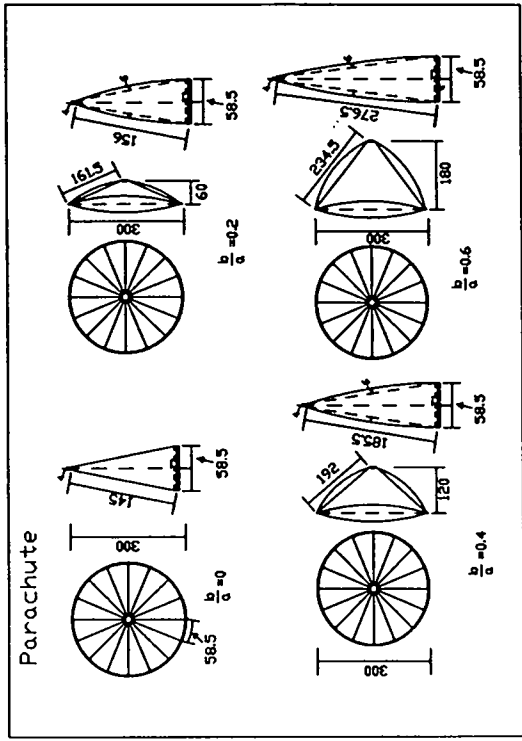


Fig. 1-5. Structure of model sea anchors with 0.3m of the mouth diameter used for the efficiency test.

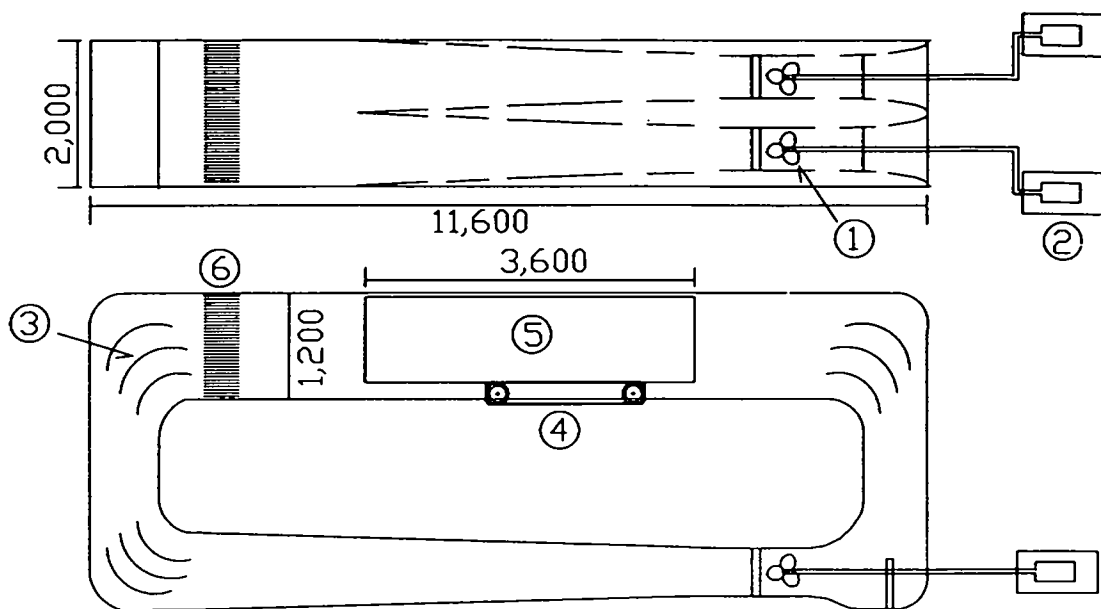


Fig. 2. Schematic drawing of the vertical circulation water channel.

- ① impeller ② motor ③ guide vane ④ moving bed
- ⑤ observation glass ⑥ honey comb

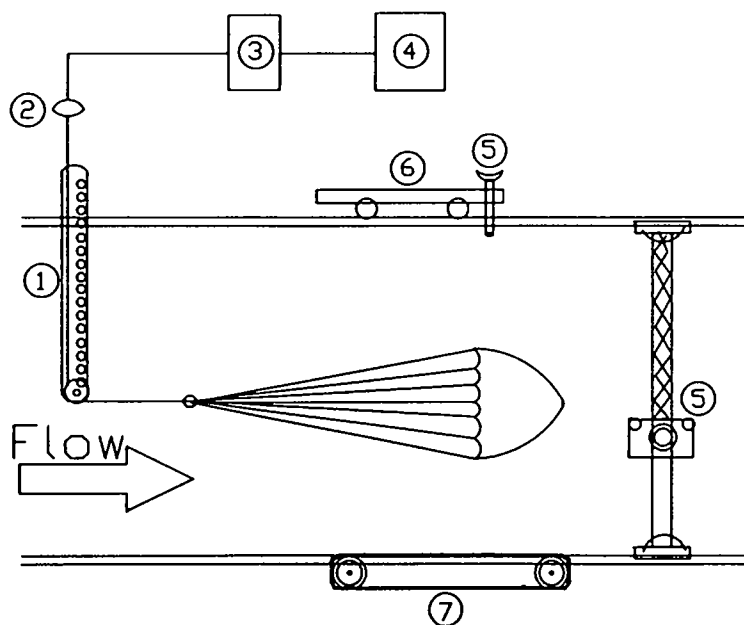


Fig. 3. Experimental set-up for the efficiency test of the sea anchors.

- ① sword ② load-cell ③ dynamic strain amplifier
- ④ personal computer ⑤ digitizer ⑥ traverse
- ⑦ moving bed

제 3 절 결과 및 고찰

1. 본체의 형상유형별 모형실험

가. 형상 및 b/a비에 따른 전개성능

원추형, 나팔형, 낙하산형의 형상에 따른 성능을 규명하기 위하여 b/a비가 0.0, 0.2, 0.4, 0.6인 각각의 모형에 대하여 연줄길이는 1.2m, 배수구의 직경 20mm로 하고, 유속을 0.1m/sec에서 0.4m/sec까지 0.1m/sec간격으로 변화시키면서 모형실험을 실시하였다.

모형의 종류별 설계단면적, 전개단면적 및 설계표면적을 구한 결과는 Table 1과 같고, 저항 및 항력계수는 Table 2와 같다.

Table 1. Design and opening area of sea anchor models

model type	design area of mouth, m ²	opening area of mouth, m ² , ($\frac{\text{opening area}}{\text{design area}} \times 100, \%$)				surface area, m ²
		0.1m/sec	0.2m/sec	0.3m/sec	0.4m/sec	
C0	0.283	0.147 (52)	0.141 (50)	0.147 (52)	0.144 (51)	0.275
C1	0.283	0.165 (58)	0.165 (58)	0.160 (56)	0.161 (56)	0.297
C2	0.283	0.186 (66)	0.189 (67)	0.192 (68)	0.197 (70)	0.355
C3	0.283	0.203 (71)	0.200 (71)	0.200 (71)	0.200 (71)	0.435
H1	0.283	0.141 (50)	0.138 (49)	0.138 (49)	0.141 (50)	0.257
H2	0.283	0.141 (50)	0.159 (56)	0.165 (58)	0.166 (58)	0.307
H3	0.283	0.181 (64)	0.204 (71)	0.182 (64)	0.193 (68)	0.377
P1	0.283	0.159 (56)	0.163 (58)	0.173 (61)	0.154 (54)	0.337
P2	0.283	0.222 (78)	0.224 (78)	0.212 (75)	0.215 (76)	0.402
P3	0.283	0.254 (90)	0.250 (88)	0.254 (90)	0.266 (94)	0.498

Table 2. Drag and drag coefficient(CD) of sea anchor models by opening area, design area and surface area in accordance with velocity

model type	Drag, kg				C _D calculated by opening area				C _D calculated by design area				C _D calculated by surface area
	velocity, m/sec				velocity, m/sec				velocity, m/sec				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	
C0	0.175	0.457	1.143	2.518	2.29	1.56	1.66	2.10	1.19	0.78	0.86	1.07	0.89
C1	0.175	0.511	1.241	2.617	2.04	1.49	1.66	1.95	1.19	0.87	0.94	1.11	0.83
C2	0.269	0.758	1.665	3.576	2.78	1.93	1.85	2.18	1.83	1.29	1.26	1.52	1.03
C3	0.351	0.947	2.164	4.637	3.33	2.32	2.31	2.79	2.39	1.64	1.63	1.97	1.07
H1	0.179	0.467	1.159	2.594	2.44	1.63	1.79	2.21	1.22	0.79	0.87	1.10	0.87
H2	0.222	0.570	1.397	3.114	3.03	1.72	1.81	2.25	1.51	0.97	1.06	1.32	0.89
H3	0.255	0.797	1.845	4.250	2.71	1.88	2.17	2.65	1.73	1.36	1.40	1.81	1.02
P1	0.237	0.602	1.397	2.908	2.87	1.78	1.73	2.27	1.61	1.03	1.06	1.24	0.87
P2	0.333	0.895	2.005	4.303	2.89	1.92	2.02	2.41	2.27	1.52	1.51	1.83	1.07
P3	0.373	1.310	2.810	6.007	2.83	2.52	2.36	2.71	2.53	2.23	2.12	2.55	1.27

이 중에서 b/a비가 0.2, 0.4, 0.6일 때의 형상별 전개성능을 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 각각 나타내었고, 또한 원추형, 나팔형, 낙하산형의 형상에 대하여 b/a비가 커짐에 따른 입구의 전개면적을 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9에, 전개성능을 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에 각각 나타내었다. 그리고, b/a비가 0.6일 때 3형상에 대하여 로드셀로써 얻어진 유체저항의 시간별 계측치를 Fig. 13에 나타내었다.

이상에서 보면, b/a=0인 C0의 경우 입구의 전개면적은 설계면적의 약 50-52% 정도로 축소하였는데, 이것은 b/a=0인 본체는 설계시 펼치면 원의 형상이나, 수중에서는 본체가 유체 흐름에 의하여 생기는 압력저항을 받아서 옆에서 볼 때 원호의 형상으로 변하기 때문이다. 유체저항은 유속이 빨라짐에 따라 기하급수적으로 커지는 경향을 보이고 있고, 이 저항에서 전개면적으로 구한 항력계수는 유속

0.2~0.3m/sec에서 1.61로 나타났고, 설계면적으로 구한 항력계수는 0.82로 나타나서 전개면적으로 구한 항력계수가 설계면적으로 구한 것보다 약 96% 정도 크게 나타났다. 이와 같이 전개면적과 설계면적에 의해서 구한 항력계수의 차이는 수중전개에 의한 영향 때문이다.

b/a=0.2인 C1, H1, P1의 경우, 나팔형의 입구의 전개면적이 설계면적의 약 49%로 가장 작고, 원추형이 약 57%이고, 낙하산형이 약 59%로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 22% 크게 수중 전개되는 것이 확인되었다. 저항은 나팔형이 원추형에 비하여 약 20%, 낙하산형에 비하여 약 40% 정도 작았으나, 전개면적으로 구한 항력계수는 원추형이 1.57로 가장 작고, 나팔형이 1.71로 중간, 낙하산형이 1.76으로 가장 크게 나타나서 원추형에 비하여 약 12% 크지만, 설계면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 0.83으로 가장 작고, 원추형이 0.91로 중간, 낙하산형이 1.05로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 26% 크고, 그리고 표면적으로 구한 항력계수는 원추형이 0.83으로 가장 작고, 나팔 및 낙하산형이 0.89로 나타나서 약 7% 정도의 차이를 보이고 있다.

b/a=0.4인 C2, H2, P2의 경우, 입구의 전개면적은 나팔형이 설계면적의 약 57%로 가장 작고, 원추형이 약 67%이고, 낙하산형이 약 77%로 가장 크게 나타나서 나팔형과 원추형에 비하여 각각 35%, 14% 크게 수중 전개되며, 저항도 나팔형이 원추형에 비하여 약 20~30%, 낙하산형에 비하여 약 45~55% 정도 작게 나타났다. 전개면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 1.76으로 가장 작고, 원추형이 1.89이고, 낙하산형이 1.97로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 12% 크지만, 설계면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 1.02로 가장 작고, 원추형이 1.27이고, 낙하산형이 1.51로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 48% 크고, 그리고 표면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 0.89로 가장 작고, 원추형이 1.03이고, 낙하산형이 1.07로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 20% 정도의 차이를 보이고 있다.

b/a=0.6인 C3, H3, P3의 경우, 입구의 전개면적은 나팔형이 설계면적의 약

67%로 가장 작고, 원추형이 약 71%이고, 낙하산형이 약 89%로 가장 크게 나타나서 나팔형과 원추형에 비하여 각각 31%, 26% 크게 수중 전개되며, 저항은 나팔형이 원추형에 비하여 약 17-19%, 낙하산형에 비하여 약 52-64% 정도 작게 나타났다. 전개면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 2.02로 가장 작고, 원추형이 2.31이고, 낙하산형이 2.44로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 20% 크지만, 설계면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 1.38로 가장 작고, 원추형이 1.63이고, 낙하산형이 2.17로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 58% 크고, 그리고 표면적으로 구한 항력계수는 나팔형이 1.02로 가장 작고, 원추형이 1.07이고, 낙하산형이 1.27로 가장 크게 나타나서 나팔형에 비하여 약 24% 정도의 차이를 보이고 있다.

이상에서 전개면적과 저항은 낙하산형이 가장 크고, 원추형, 나팔형의 순으로 작았으며, 항력계수는 형상별 차이가 낙하산형, 원추형, 나팔형의 순으로 나타났으나, 전개면적이나 저항에 비하여 그 차이가 상대적으로 작게 나타났다.

전개면적은 유속이 커짐에 따라 다소 차이를 보이고 있으나 그 변화폭이 아주 작은 상태로 거의 일정한 경향을 보이고 있는데 비하여, 저항은 모든 경우에 기하급수적인 증가경향을 보이고 있다. 항력계수는 유속 0.1m/sec에서는 분포범위가 2.2~3.3 정도로 가장 크고, 0.2m/sec에서 1.6~2.0의 분포 범위로 가장 작게 나타났고, 0.3m/sec에서 1.7~2.3의 범위에 분포하여 0.2m/sec에 비해 다소 증가하고 있으나 거의 같고, 0.4m/sec에서는 2.0~2.7의 범위에 분포하여 상당히 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향을 보인 것은 속도가 느릴수록 압력저항에 대한 마찰저항의 비가 커지기 때문에 0.1m/sec에서의 항력계수가 크게 나타났고, 유속이 커질수록 물뚝은 본체의 내부에 물을 감싸안는 경향이 커지게 되어 항력계수의 값은 증가하는 것으로 생각된다.

수중에서 물뚝의 움직임은 유속이 커질수록 회전운동이나 이동운동이 급격해지고 크게 나타났으며, 특히 수중에서 해파리의 움직임과 같이 본체 입구 쪽의 수축 및 확대 운동이 커지는 것으로 나타났는데, 이러한 점에서 유속이 빨라지게

되면 본체 속에 감싸안은 물의 양이 증대되어 저항이 커지고 이에 따라 항력계수 값도 커지는 것으로 판단되며, 본체 속에 물이 가득 차게 되면 본체의 내부면을 따라 물이 역으로 흘러나와서 테두리의 바깥쪽으로 넘쳐흐르는(overflow) 과정에서 해파리의 움직임과 같은 모션이 일어나며, 이에 따라 저항치가 상당한 폭으로 변화한다고 생각된다. 이와 같은 이유로 시간에 따라 변화하는 유체저항의 계측치를 Fig. 13에 나타내었다.

형상별 b/a 비에 따른 전개성능을 보면, b/a 비가 커질수록 전개면적이나 저항, 항력계수 모두 뚜렷하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

이상에서 물뚝의 형상은 우리나라에서 대부분 사용하고 있는 원추형의 것보다는 낙하산형의 것. 특히 b/a 가 0.6인 것이 수중전개면적이나 저항이 약 30% 크다는 것을 알 수 있다. 즉, b/a 비가 0.6인 낙하산형의 물뚝을 사용한다면 그 전개 성능은 현용의 것에 비하여 약 30% 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 현재 부분적으로 사용되고 있는 펼칠시 원이 되는 $b/a=0$ 의 것에 비하여는 저항은 2.4~2.8배 커지는 것이 확인되었다.

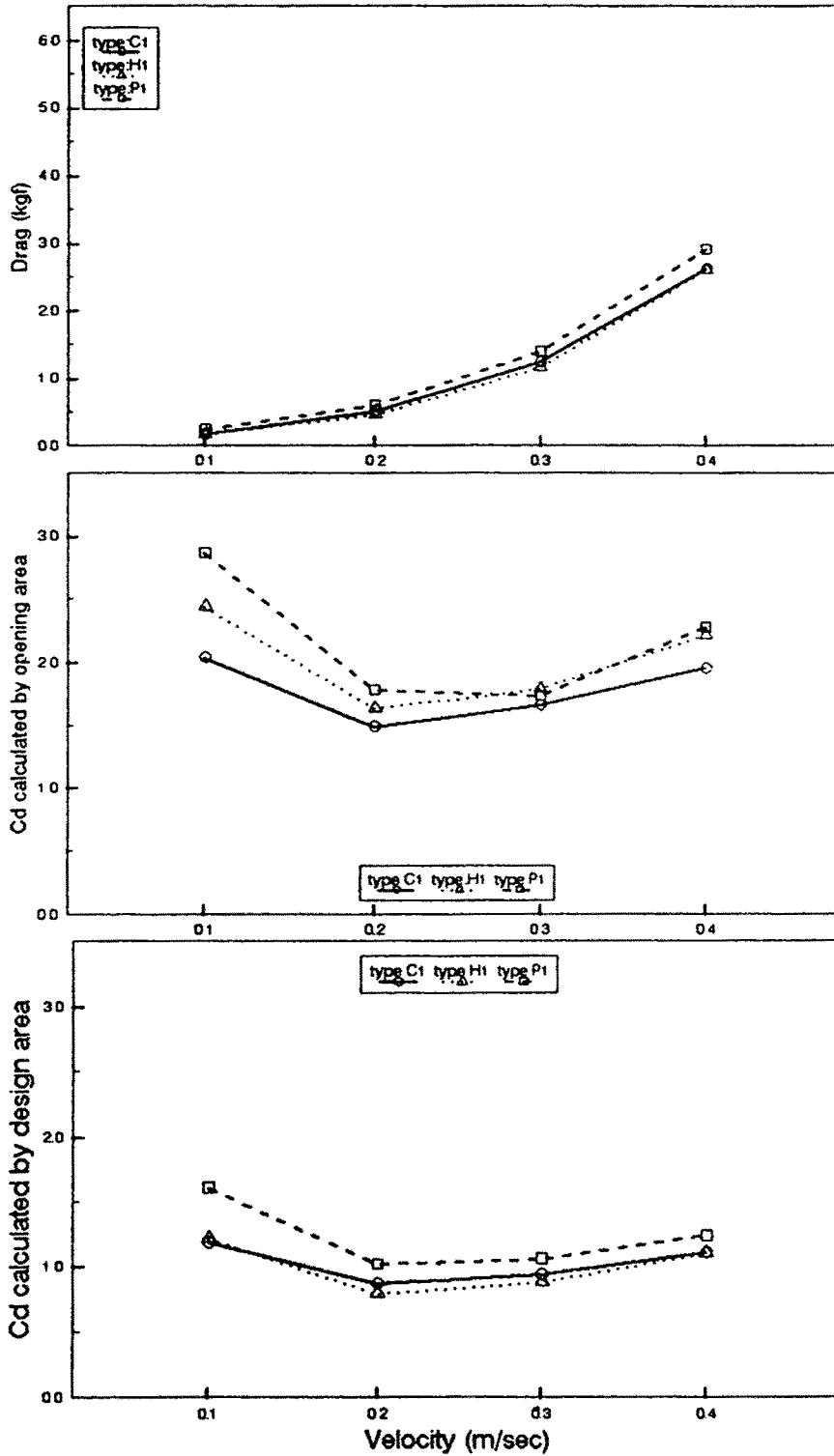


Fig. 4. Efficiency of the sea anchor shape with b/a of 0.2.

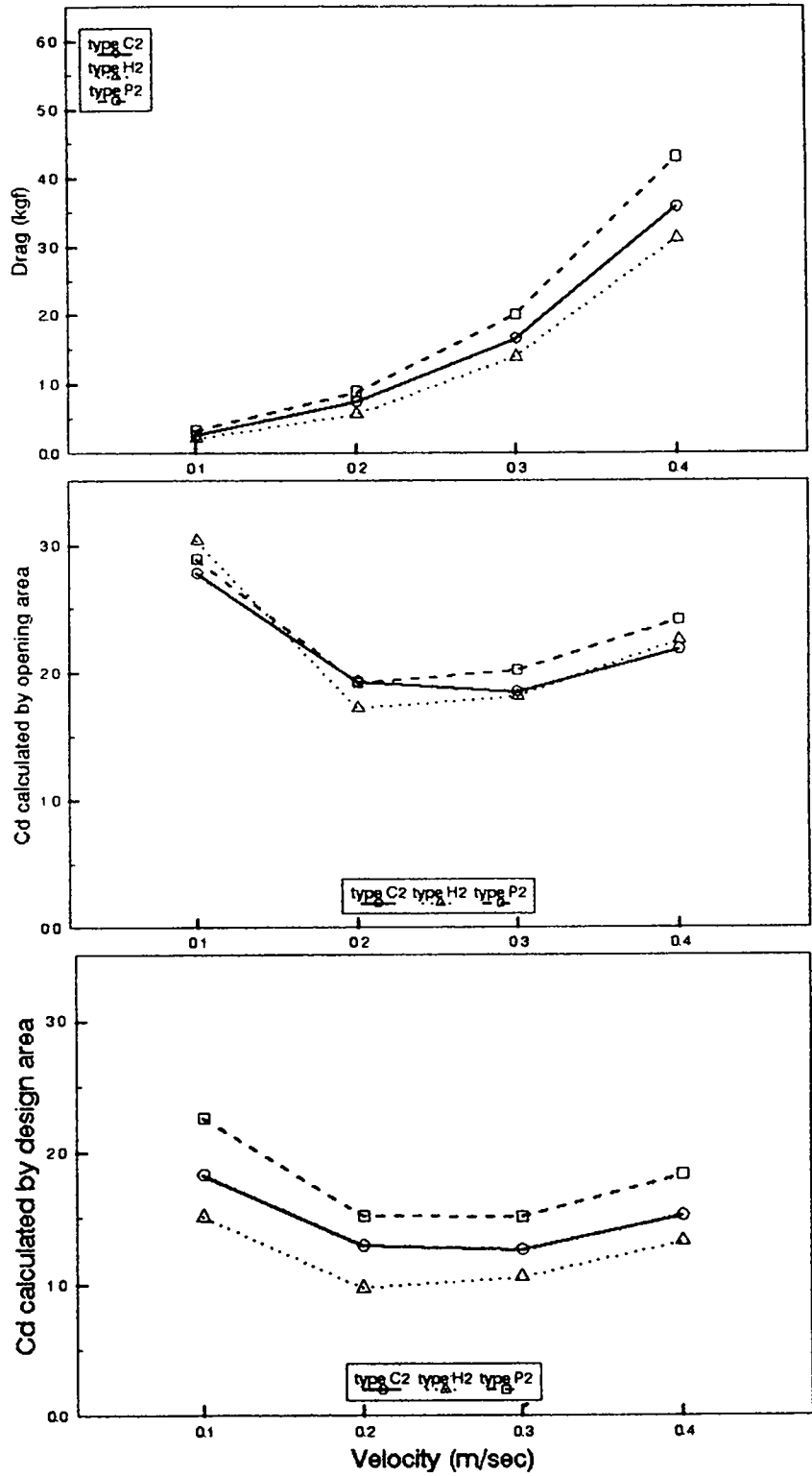


Fig. 5. Efficiency of the sea anchor shape with b/a of 0.4.

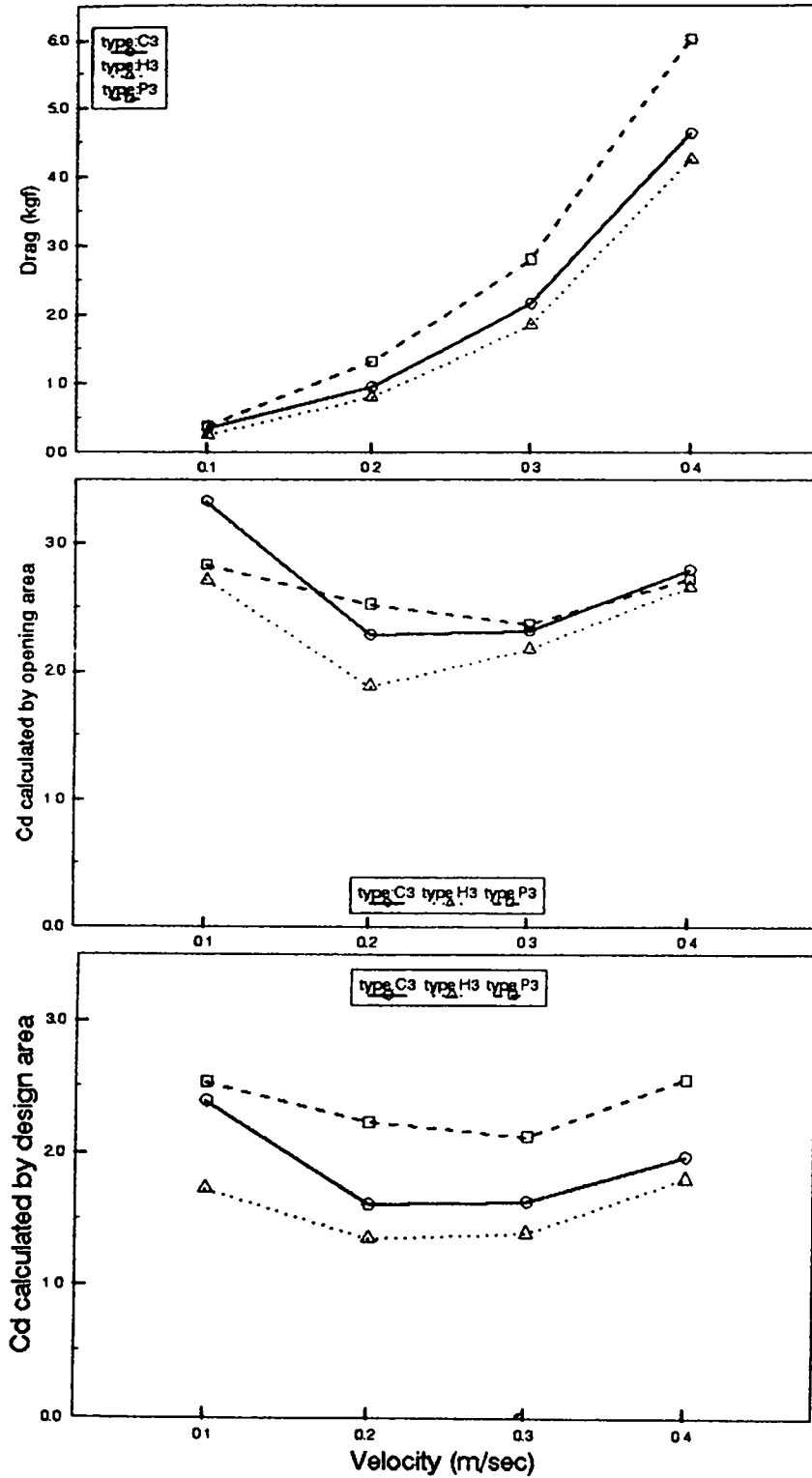


Fig. 6. Efficiency of the sea anchor shape with b/a of 0.6.

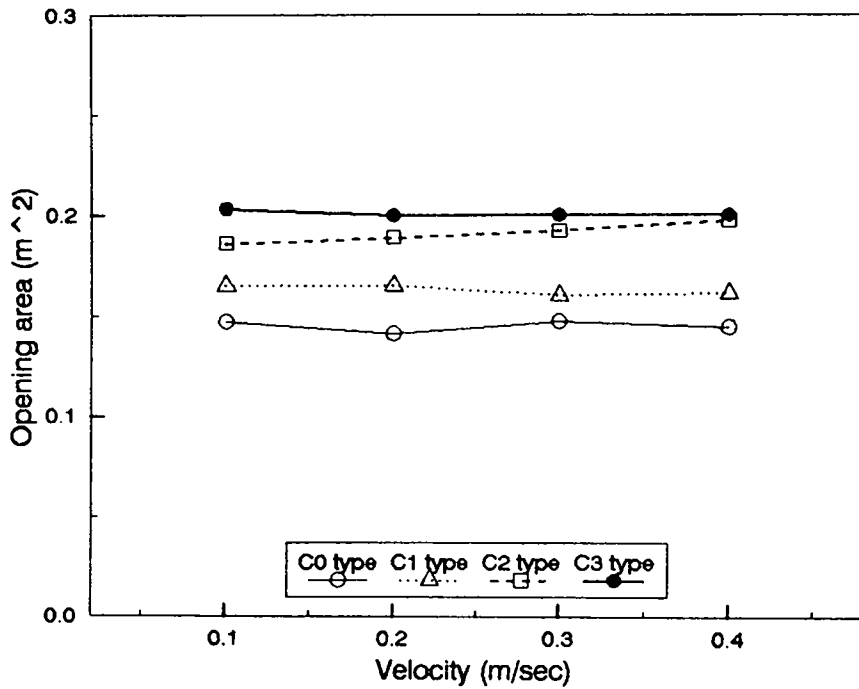


Fig. 7. Opening area of the cone shaped models in accordance with velocity

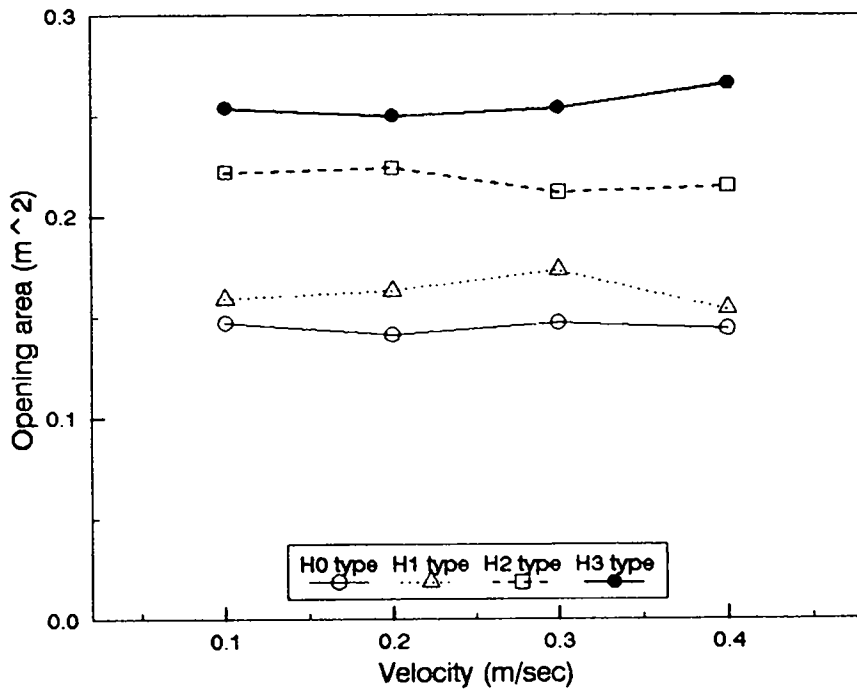


Fig. 8. Opening area of the horn shaped models in accordance with velocity

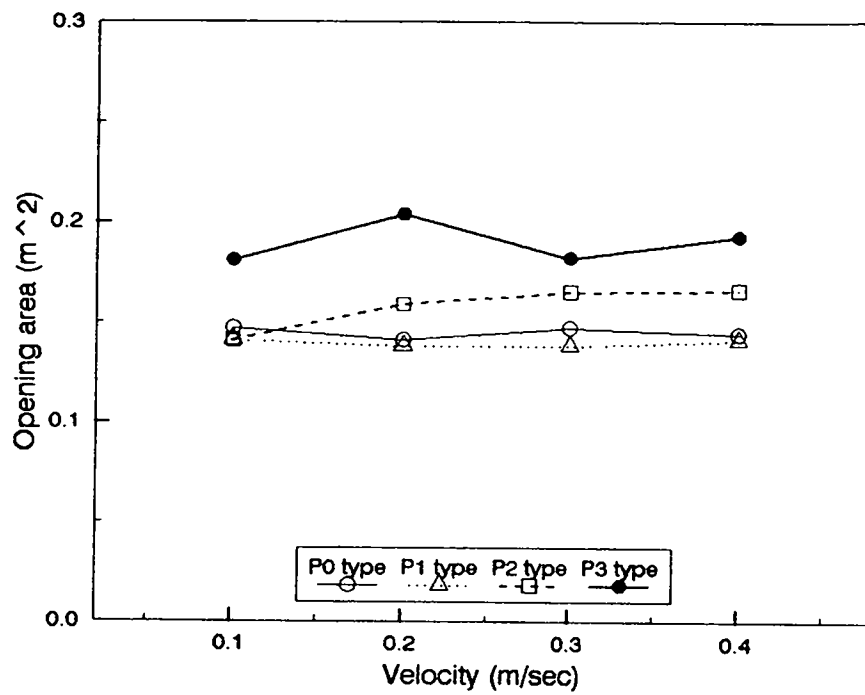


Fig. 9. Opening area of the parachute shaped models in accordance with velocity.

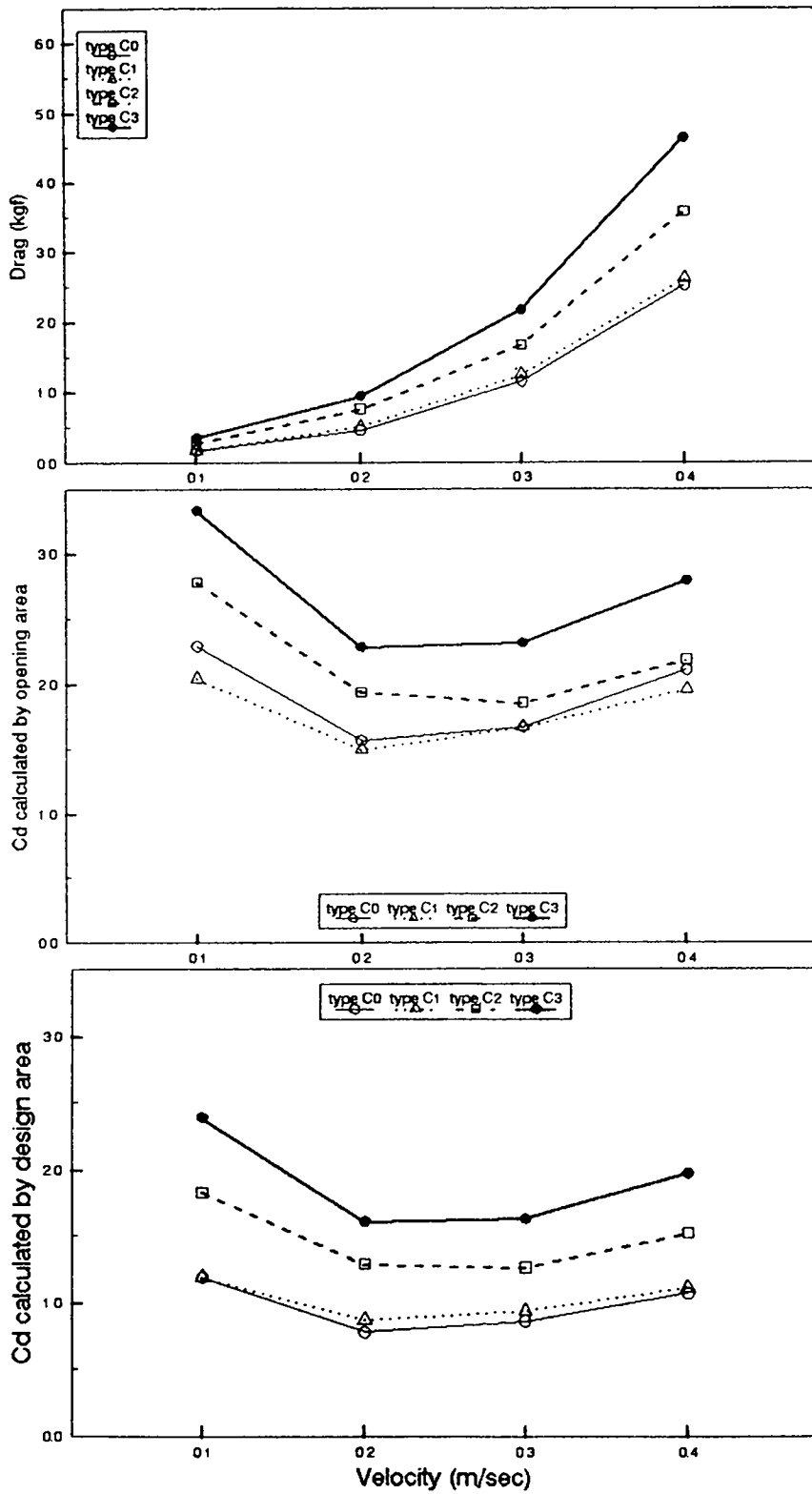


Fig. 10. Efficiency of cone shaped sea anchors.

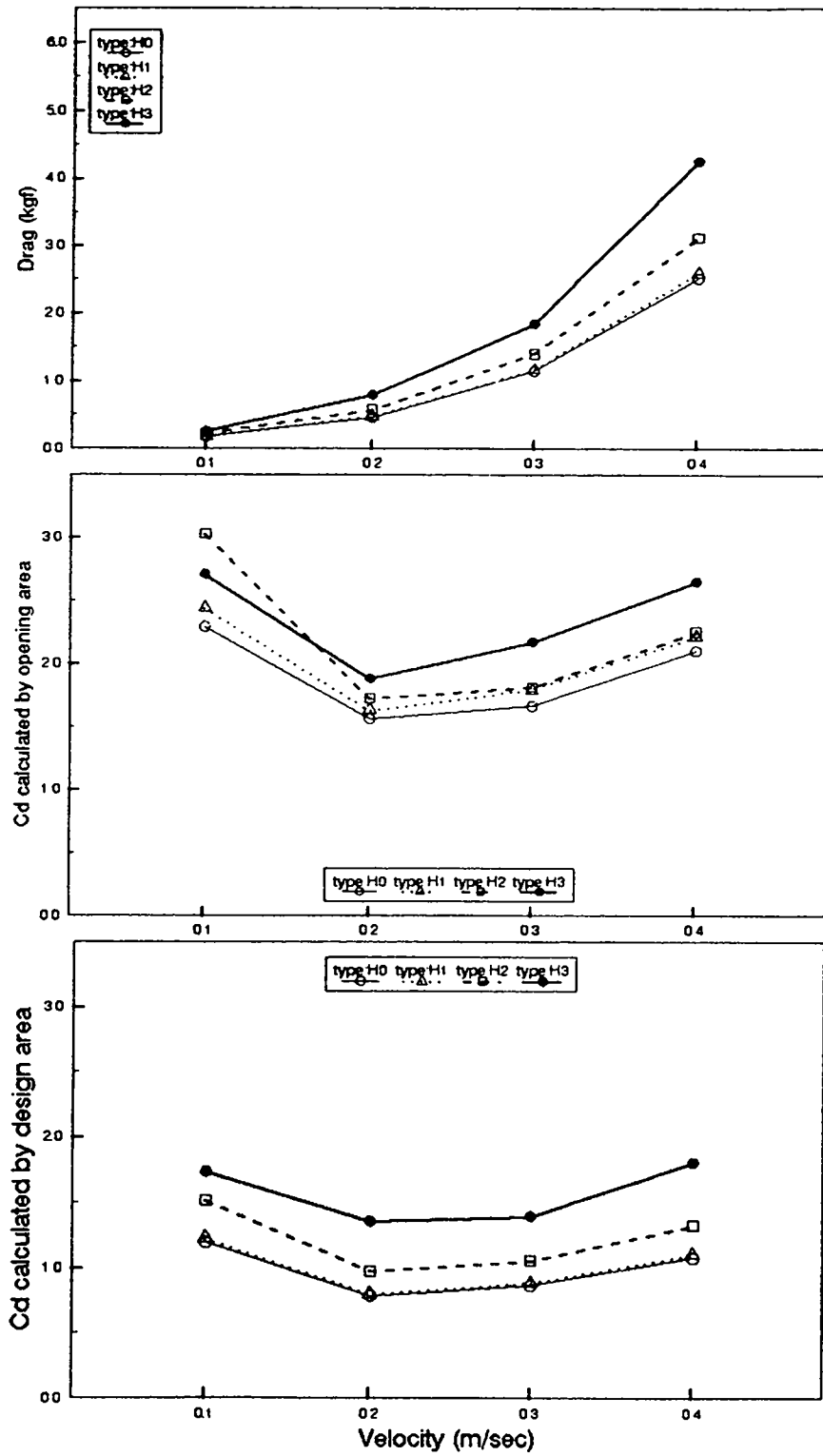


Fig. 11. Efficiency of horn shaped sea anchors.

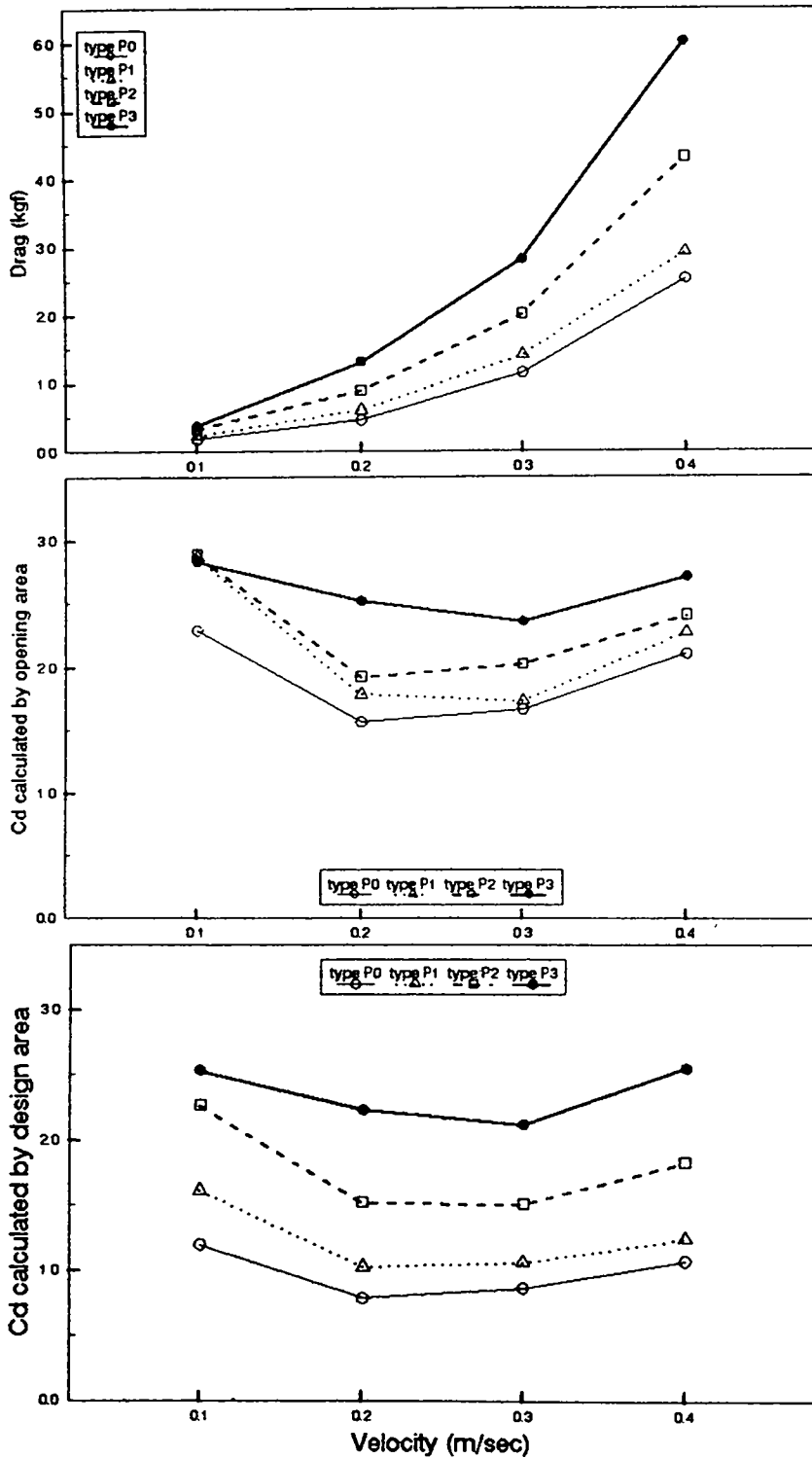


Fig. 12. Efficiency of parachute shaped sea anchors.

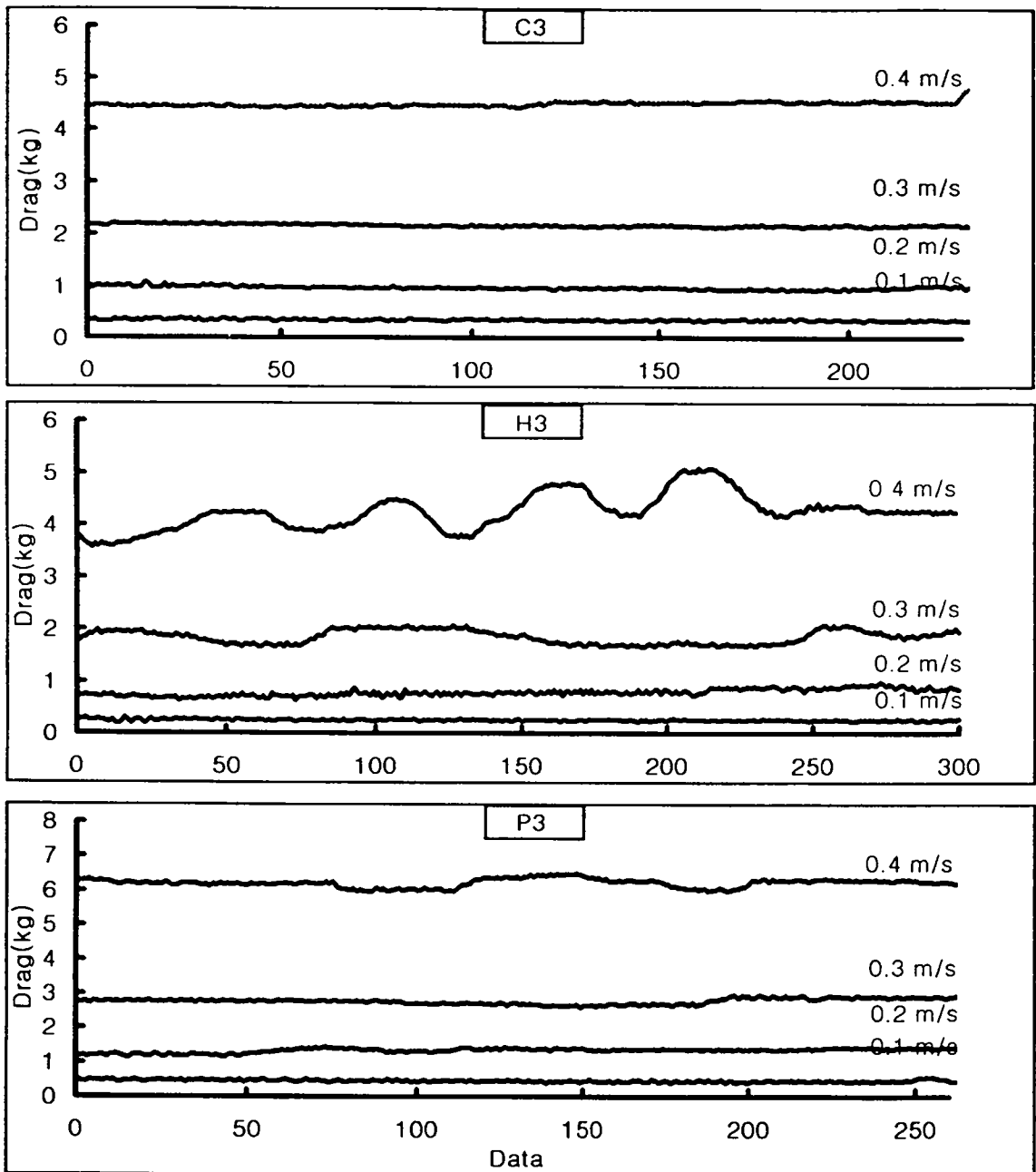


Fig. 13. Drag of the model sea anchors with 0.6 of b/a measured by load-cell.

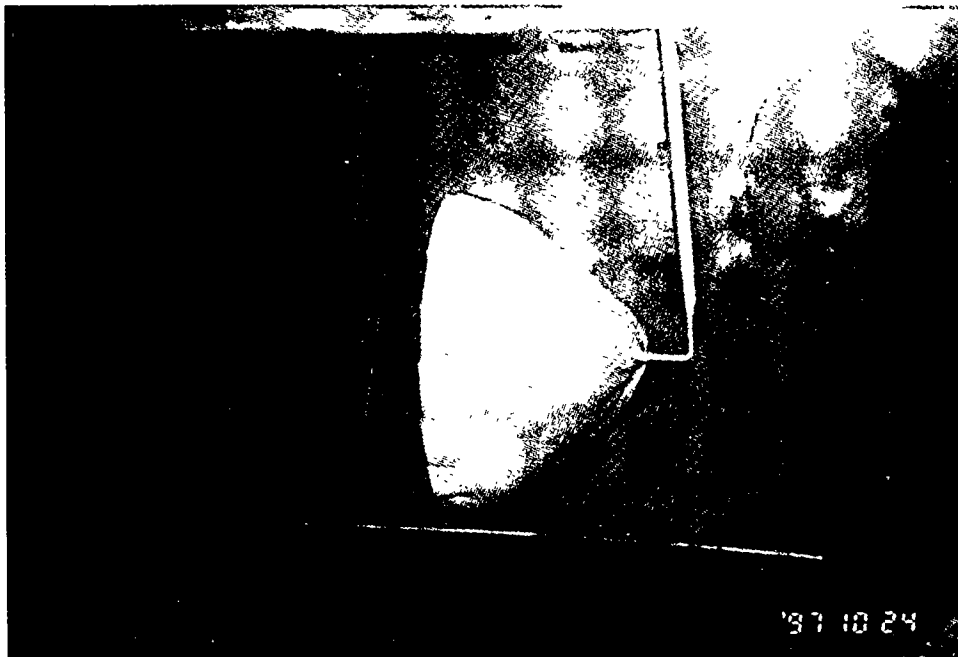


Photo. 2. Opening shape of the cone shaped sea anchor in the water channel

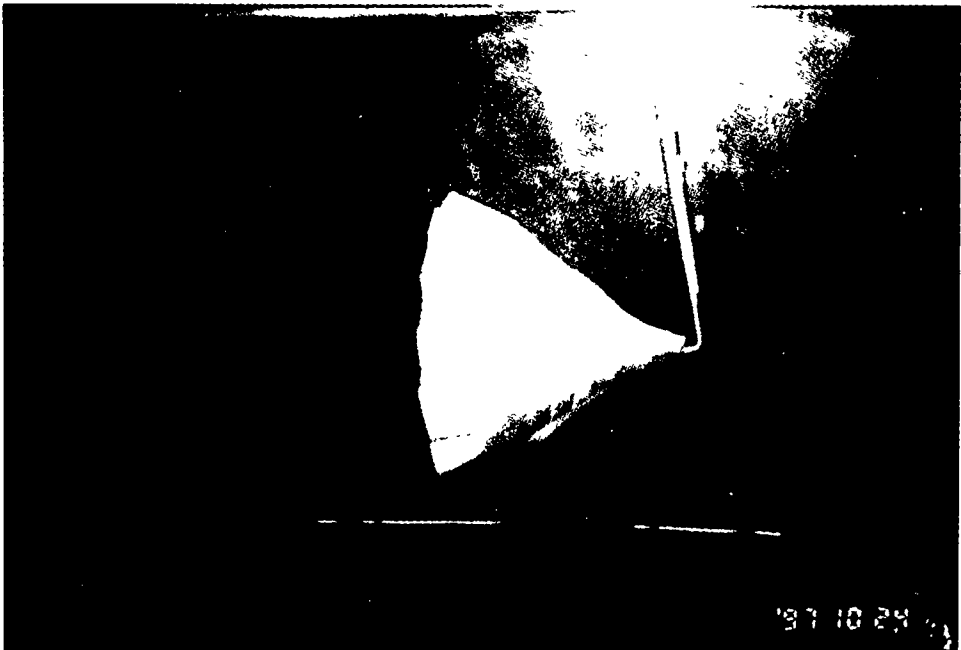
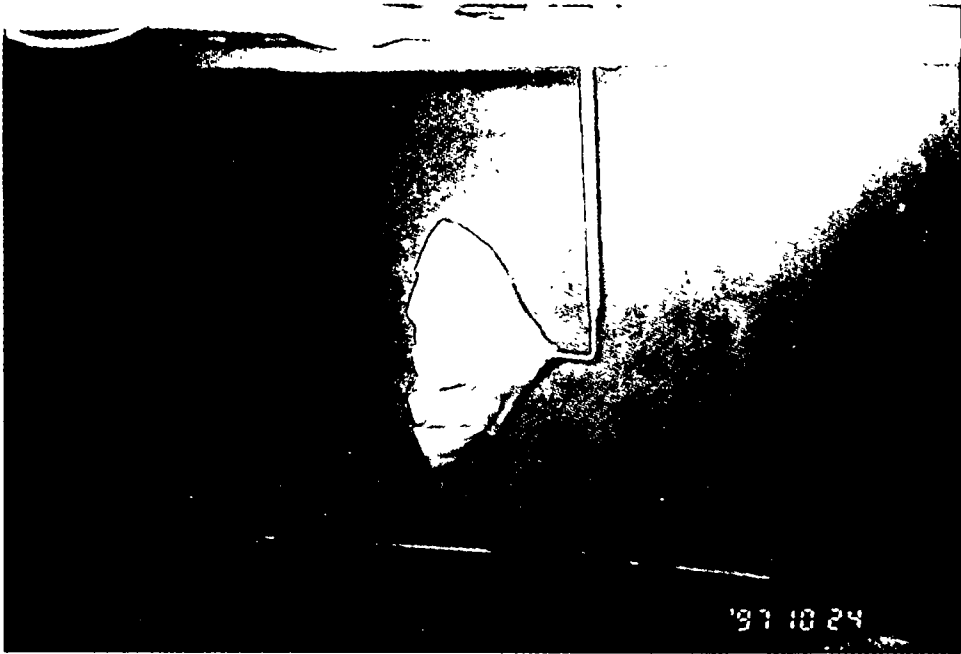


Photo. 3. Opening shape of the horn shaped sea anchor in the water channel

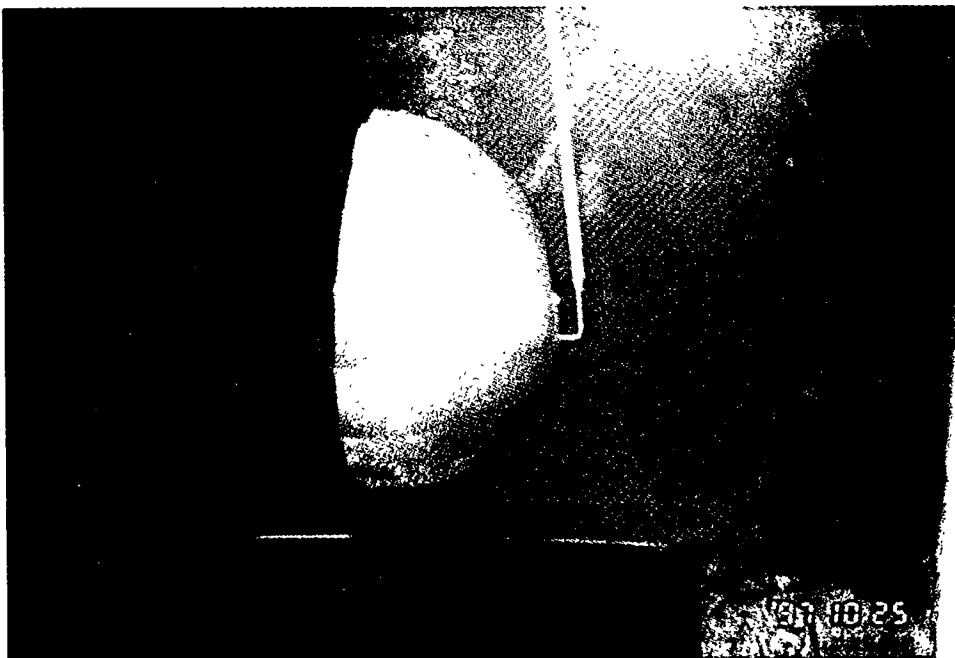
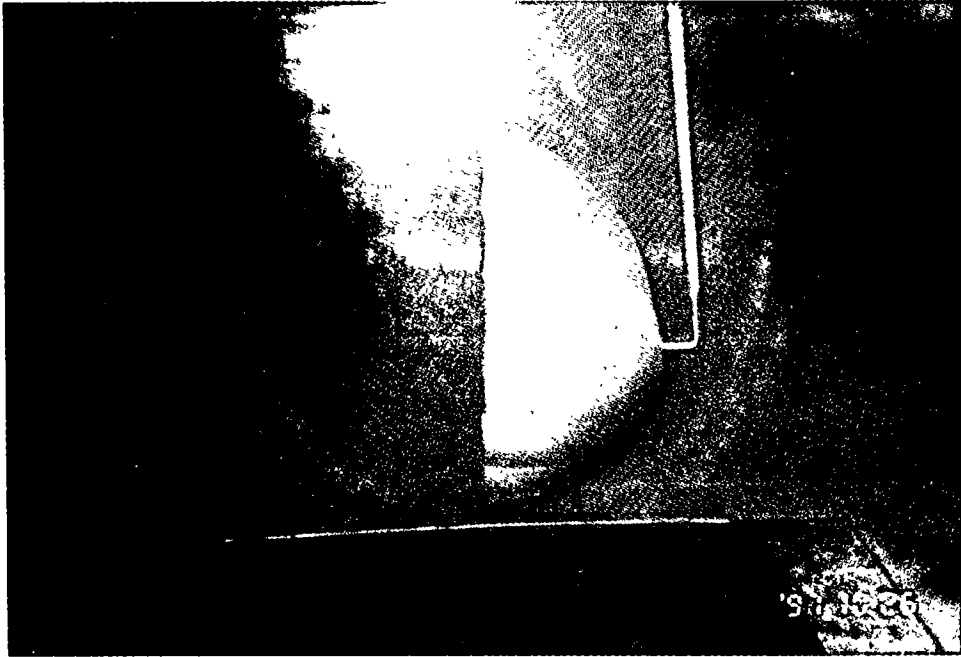


Photo. 4. Opening shape of the parachute shaped sea anchor in the water channel

나. 연줄의 길이에 따른 전개성능

연줄의 길이에 따른 전개성능을 규명하기 위하여 모형 C0, 배수구의 직경 20mm으로 일정하게 하고, 연줄길이를 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 그리고 1.8m의 6종에 대하여 유속 0.1~0.4m/sec의 범위에서 0.1m/sec 간격으로 변화시키면서 모형실험을 실시한 결과는 Table 3, Table 4 및 Fig. 14와 같다.

전개면적은 연줄길이가 본체의 설계직경 0.6m의 1.3배인 0.8m일 때 설계면적의 약 50%로 가장 작고, 2배인 1.2m일 때 52%이고, 3배인 1.8m일 때 55%로 가장 크게 나타나서 0.8m인 경우에 비하여 약 11% 크게 수중 전개되며, 전반적으로 연줄길이가 길수록 전개면적이 약간씩 커지는 것을 알 수 있다.

저항은 연줄길이 0.8m일 때가 가장 작고, 연줄길이 1.2m일 때는 0.8m에 비하여 약 15% 정도 크고, 1.8m일 때는 0.8m에 비하여 약 35% 커지는 것으로 나타나서, 저항은 연줄길이가 커질수록 증가하는 경향을 보인다.

전개면적으로 구한 항력계수는 연줄길이 0.8m일 때 1.46으로 가장 작고, 1.2m일 때 1.61이고, 1.8m일 때 1.77로 가장 커서 0.8m일 때에 비하여 약 21% 크게 나타났고, 설계면적으로 구한 항력계수는 0.8m일 때 0.72로 가장 작고, 1.2m일 때 0.81이고, 1.8m일 때 0.98로 가장 커서 0.8m일 때에 비하여 약 35% 크게 나타났다. 따라서 항력계수는 연줄길이가 커질수록 증가하는 것을 알 수 있다

이상에서 연줄길이가 커질수록 전개면적, 저항, 항력계수가 서서히 증가하는 경향을 보이고 있는데, 특히 연줄길이 1.4~1.6m 사이에서 그 차이가 다른 간격에 비하여 다소 크게 나타났다. 이와같이 연줄길이가 길수록 전개면적이 커지고 따라서 항력이 커지는 것은 유체흐름에 대한 연줄의 각도가 커질수록 물뿔의 유체의 흐름 방향에 수직으로 작용하는 분력, 즉 수축력이 커지기 때문으로 생각된다.

설계상 본체의 설계직경인 0.6m에 대한 연줄길이의 비가 2배인 1.2m와 3배인 1.8m의 항력차이는 약 15% 정도인데, 실제 조업선에서는 줄이 길어지게 되면 줄의 꼬임이 많고, 다루기가 불편하기 때문에 2.0~2.5배 정도의 범위에서 연줄을 주고 있으며, 이러한 연줄길이의 선택은 전적으로 사용자의 취향에 따라서 조정되어진다.

따라서, 연줄의 구조를 조정하여 꼬임을 줄일수만 있다면 연줄길이는 설계직경의 약 3배 정도 주는 것이 무방하리라 생각된다.

Table 3. Opening area of the sea anchor model in accordance with the length of sea anchor pendants

length of sea anchor pendants, m	opening area of mouth, m ² . ($\frac{\text{opening area}}{\text{design area}} \times 100, \%$)			
	0.1m/sec	0.2m/sec	0.3m/sec	0.4m/sec
0.8	0.144 (51)	0.141 (50)	0.138 (49)	0.138 (49)
1.0	0.141 (50)	0.146 (52)	0.138 (49)	0.144 (51)
1.2	0.147 (52)	0.141 (50)	0.147 (52)	0.144 (51)
1.4	0.141 (50)	0.147 (52)	0.144 (51)	0.159 (56)
1.6	0.156 (55)	0.154 (54)	0.156 (55)	0.163 (58)
1.8	0.156 (55)	0.156 (55)	0.156 (55)	0.156 (55)

Table 4. Drag and drag coefficient(CD) of sea anchor model by opening and design area in accordance with velocity and length of sea anchor pendants

length of sea anchor pendants, m	drag, kg				C _D calculated by opening area				C _D calculated by design area			
	velocity, m/sec				velocity, m/sec				velocity, m/sec			
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
0.8	0.150	0.423	0.965	2.060	2.00	1.44	1.49	1.79	1.02	0.72	0.73	0.87
1.0	0.159	0.447	1.007	2.214	2.17	1.47	1.56	1.85	1.08	0.76	0.76	0.94
1.2	0.175	0.457	1.143	2.518	2.29	1.56	1.66	2.10	1.19	0.78	0.86	1.07
1.4	0.187	0.520	1.098	2.484	2.55	1.70	1.63	1.88	1.27	0.88	0.83	1.06
1.6	0.206	0.515	1.253	2.709	2.54	1.61	1.72	2.00	1.40	0.88	0.95	1.15
1.8	0.257	0.565	1.317	2.700	3.17	1.74	1.80	2.08	1.75	0.96	0.99	1.15

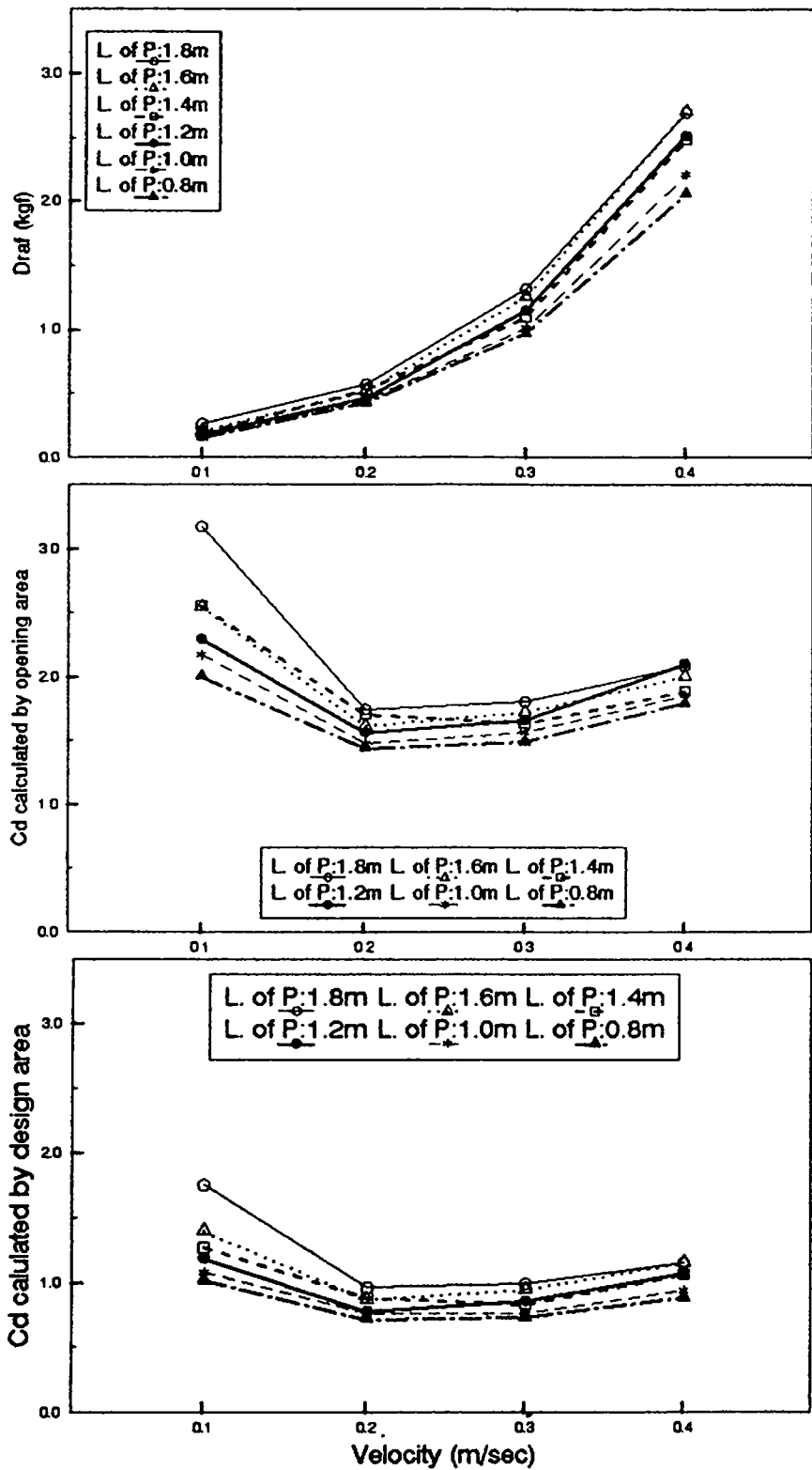


Fig. 14. Efficiency of sea anchor in accordance with velocity and length of pendant.

다. 연줄의 구조에 따른 전개성능

연줄의 구조에 따른 전개성능을 규명하기 위하여 모형 P3, 배수구의 직경 20mm, 연줄길이를 1.2m로 하고, 연줄의 구조를 종래의 직선형(16가닥, 1.2m) 1종과 4가닥(0.4m)-8가닥(0.4m)-16가닥(0.4m), 4가닥(0.5m)-8가닥(0.5m)-16가닥(0.2m)으로 가지를 치는 망목형구조 2종의 총 3종에 대하여 유속 0.1~0.4m/sec의 범위에서 0.1m/sec 간격으로 변화시키면서 모형실험을 실시한 결과는 Table 5, Table 6 및 Fig. 15와 같다.

전개면적은 기준형이 설계면적의 약 89% 전개되며, N4형이 약 92%, N2형이 95% 전개되는 것으로 나타나서 연줄의 구조가 16가닥의 긴 줄로써 연결되는 종래의 것보다는 본 연구에서 새롭게 설계한 그물형일 때 전개면적이 다소 증가하는 것을 알 수 있다.

저항은 3부분의 길이가 0.4m인 N4의 망목형인 경우 종래의 것과 비슷하거나 다소 크게 나타났지만 길이가 0.5-0.5-0.2m의 구조를 갖는 N2의 망목형에서는 종래의 것보다 오히려 다소 작게 나타났다. N2형의 구조는 본체와 연결되는 목줄부의 길이가 0.2m이기 때문에 본체는 물을 많이 차지지만 길이의 제한 때문에 본체의 태두리 쪽에서 충분히 전개되지 못하게 되고, 이에 따라서 본체 속에 가득찬 물이 넘쳐흐르는 현상이 빈번해진다. 따라서, overflow에 의해서 힘의 손실이 발생하여 물뚝에 걸리는 유체저항이 작아지며, 동시에 본체의 안정성도 나빠지는 원인으로 작용할 것으로 판단된다.

전개면적으로 구한 항력계수는 종래의 직선형과 N4형은 2.44와 2.48로 거의 같고, N2형은 2.22로 약 9% 정도 작게 나타났으며, 설계면적으로 구한 항력계수는 N4형이 2.28로 가장 크고, 직선형이 2.18이고, N2형이 2.12로 가장 작게 나타났다. 그리고 설계면적과 전개면적으로 구한 항력계수의 값의 차이는 직선형이 약 11%, 망목형이 약 5% 정도를 나타내어 다른 항목의 실험 결과에 비하여 상당히 작게 나타났다.

이상에서 연줄의 구조를 종래의 직선형과 망목형으로 하였을 때, 물돛의 전개 면적, 유체저항, 항력계수 등을 종합적으로 고려해보면, 종래의 직선형보다는 길이 0.4m으로 3등분한 N4형의 것이 오히려 성능이 우수하게 나타났고, 특히 본체의 회전운동에 따른 연줄의 꼬임은 전혀 나타나지 않았다.

따라서 현재의 연줄구조보다는 N4형의 연줄구조가 바람직하다고 본다. 다만 연줄을 망목형구조로 만드는 경우 마찰, 장력 등에 의한 연줄의 절단과 같은 사고가 발생한다면 종래의 것에 비하여 그 영향이 크게 나타날 수 있다는 점과 연줄의 각 부에 걸리는 장력을 고려하여 연줄의 종류, 굵기 및 연결방법 등에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

Table 5. Opening area of the sea anchor model in accordance with the type of sea anchor pendant

type of sea anchor pendants	opening area of mouth, m'. ($\frac{\text{opening area}}{\text{design area}} \times 100, \%$)			
	0.1m/sec	0.2m/sec	0.3m/sec	0.4m/sec
Prototype	0.253 (89)	0.250 (88)	0.254 (90)	0.266 (94)
N4	0.252 (89)	0.267 (94)	0.252 (89)	0.252 (89)
N2	0.274 (97)	0.267 (94)	0.274 (97)	0.279 (99)

Table 6. Drag and drag coefficient(CD) of sea anchor models by opening and design area in accordance with velocity and type of sea anchor pendants

type of sea anchor pendants	drag, kg				C _D calculated by opening area				C _D calculated by design area			
	velocity, m/sec				velocity, m/sec				velocity, m/sec			
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
Prototype	0.373	1.310	2.810	6.007	2.83	2.52	2.36	2.71	2.53	2.23	2.12	2.55
N4	0.385	1.291	3.121	6.237	2.94	2.32	2.65	2.98	2.62	2.19	2.36	2.65
N2	0.390	1.158	3.032	5.989	2.73	2.08	2.36	2.58	2.65	1.97	2.28	2.54

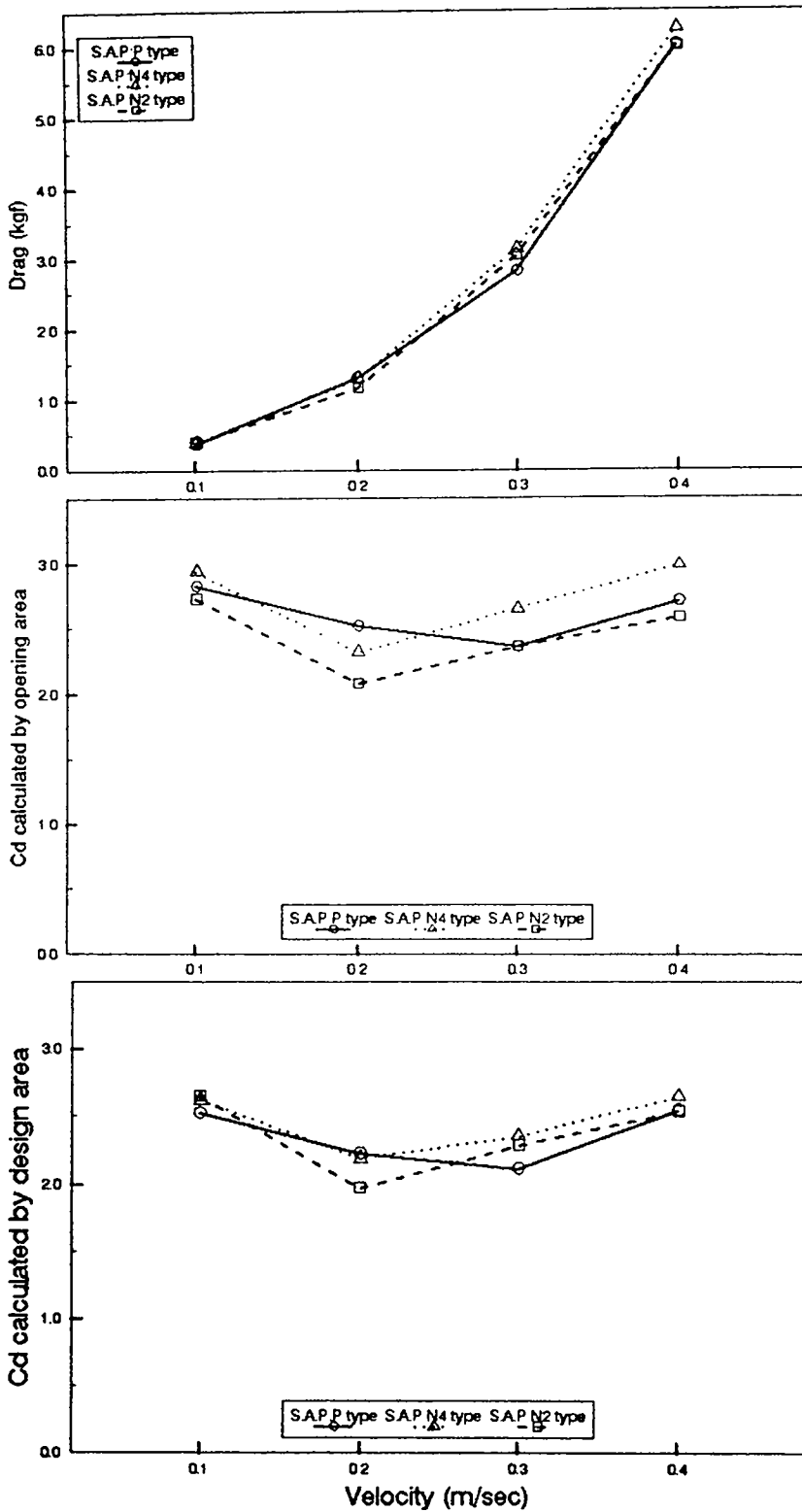
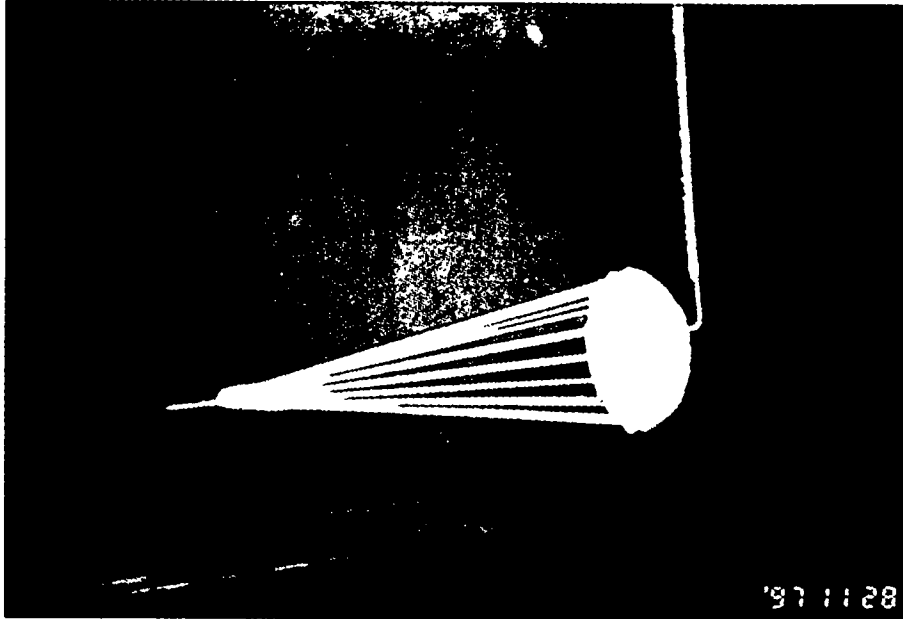
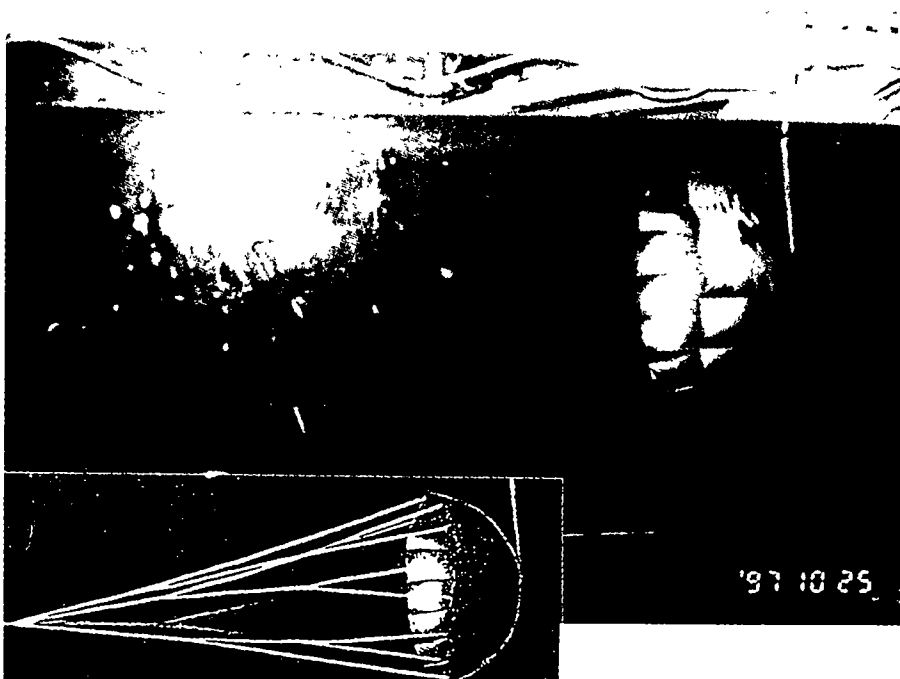


Fig. 15. Efficiency of sea anchor in accordance with velocity and structure of pendant.



〈Prototype structure〉



〈Mesh type, N4 structure〉

Photo. 5. Opening shape of sea anchors with the prototype and N4 structure of pendant in the water channel.

라. 배수구의 크기에 따른 전개성능

배수구의 크기에 따른 전개성능을 규명하기 위하여 모형 P3, 연줄길이 1.2m, 연줄구조 N4형에 대하여 배수구의 직경을 20, 40, 60mm로 각각 다르게 하여 유속 0.1~0.4m/sec의 범위에서 0.1m/sec 간격으로 변화시키면서 모형실험을 실시한 결과는 Table 7, Table 8 및 Fig. 16과 같다.

전개면적은 배수구의 구멍이 20mm일 때 설계면적의 92%, 40mm일 때 98%, 60mm일 때 93%로서 40mm일 때가 가장 크게 나타났지만 그 차이는 5% 미만으로 거의 차이가 없으며, 저항도 배수구의 크기가 달라지더라도 오차 범위에서 거의 비슷하게 나타났다.

전개면적으로 구한 항력계수는 40mm일 때가 2.34로 가장 작고, 20mm와 60mm일 때는 2.53으로 거의 같고, 설계면적으로 구한 항력계수는 20mm와 40mm일 때가 2.31로 거의 같고, 60mm일 때 2.35로 나타나서 실험범위 내에서는 배수구의 크기에 따른 전개성능의 차이는 거의 없는 것으로 판단되었다.

이상에서 배수구가 커지면 전개면적이나 항력이 거의 비슷하거나 오히려 다소 커지는 경향을 보이고 있는데, 이것은 배수구가 커질수록 물돛이 해파리와 같은 움직임이나 이동운동의 정도가 상당히 감소하는 것이 확인되었고, 따라서 물돛은 전개성능 뿐만 아니라 안정성도 좋아지게 된다.

그리고, 가시화실험에서 배수구로의 물빠짐이 기대보다는 훨씬 작게 나타났는데, 이것은 흘러온 유체가 본체 내부에서 수괴를 형성함에 따라서 수류방향이 변하고, 이에 따라서 수괴가 커지게 되면 배수구로의 물빠짐에 앞서 본체 바깥으로 넘쳐 흐르는 overflow에 의해서 수괴의 크기가 조절되므로 배수구로의 물빠짐이 기대치에 비하여 상당히 작게 나타난 것으로 판단되었다.

따라서, 배수구의 직경을 현재보다는 약 20% 정도 크게 하더라도 전개성능은 다소 향상될 것이고, 특히 안정성이 좋아질 것이다.

Table 7. Opening area of the sea anchor model in accordance with the size of drain-hole

dia. of drain-hole, mm	opening area of mouth, m ² , ($\frac{\text{opening area}}{\text{design area}} \times 100, \%$)			
	0.1m/sec	0.2m/sec	0.3m/sec	0.4m/sec
20	0.252 (89)	0.267 (94)	0.252 (89)	0.252 (89)
40	0.274 (97)	0.274 (97)	0.282 (99)	0.277 (98)
60	0.252 (89)	0.259 (92)	0.267 (94)	0.274 (97)

Table 8. Drag and drag coefficient(CD) of sea anchor models by opening and design area in accordance with velocity and dia. of drain-hole

dia. of drain-hole, mm	drag, kg				C _D calculated by opening area				C _D calculated by design area			
	velocity, m/sec				velocity, m/sec				velocity, m/sec			
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
20	0.385	1.291	3.221	6.437	2.94	2.32	2.74	3.07	2.62	2.19	2.44	2.73
40	0.408	1.280	3.216	6.764	2.86	2.24	2.44	2.93	2.77	2.17	2.43	2.87
60	0.391	1.290	3.515	6.602	2.99	2.40	2.81	2.89	2.66	2.20	2.65	2.80

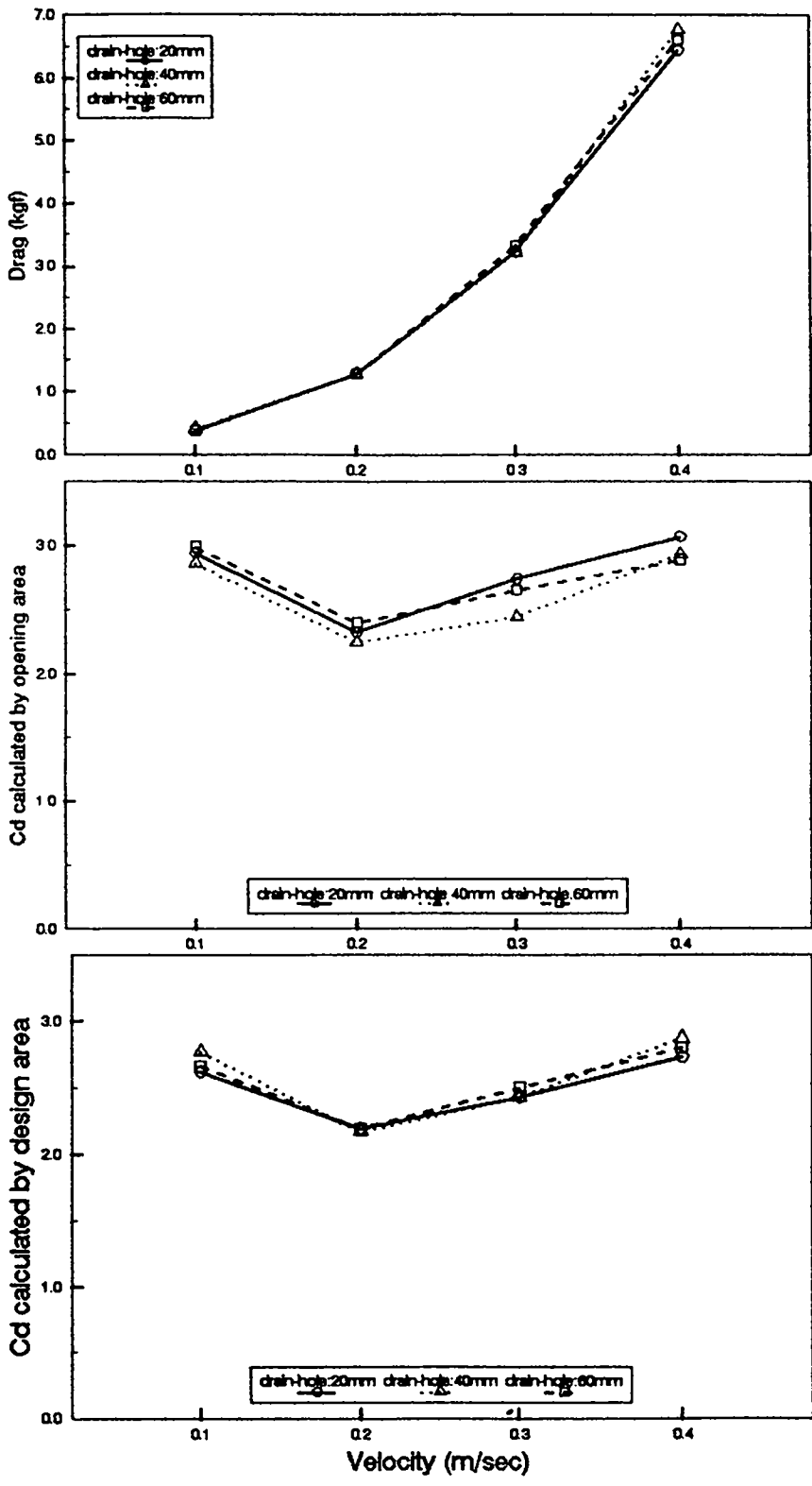


Fig. 16. Efficiency of sea anchor in accordance with velocity and size of drain-hole.

2. 모형 규모에 따른 전개성능

모형의 크기에 따른 전개성능을 규명하기 위하여 본체 입구의 설계직경이 0.6m 이고, b/a가 0.6인 낙하산형의 모형 P3과 설계직경이 0.3m이고 b/a가 0.6인 낙하산형의 모형에 대하여 각각 $\phi 3$ mm인 스테인레스 봉으로 외경이 0.6m와 0.3m인 원형 링을 만들어서 본체를 이 링에 부착하여 입구의 전개면적이 일정하게 유지 되도록 하여 유속 0.1~0.4m/sec의 범위에서 0.1m/sec 간격으로 변화시키면서 모형실험을 실시한 결과는 Table 9 및 Fig. 17과 같다.

유체저항은 앞에서의 실험 결과와 마찬가지로 유속이 빨라짐에 따라 기하급수적으로 증가하는 것으로 나타났고, 항력계수는 설계직경이 0.3m일 때 약 2.21이고, 0.6m일 때 약 2.30으로 나타나서 계수값으로는 0.09 정도 크며 0.3m일 때에 비하여 약 4% 정도 크게 나타났다.

그러나 설계직경이 0.3m인 다른 모형의 시험에서 연줄로 본체를 연결하고 시험하는 경우 각 모형의 형상요인별 유속별 성능차, 즉 전개 형상이나 면적의 계측 및 얻어진 자료의 검증과 역학적 특성치에서의 각각의 차이가 상대적으로 작게 나타나서 물뿔의 움직임에 따라 발생하는 계측오차, 계측기의 측정오차, VTR화면에서 얻어진 자료의 시각오차 등에 의해서 정량적, 정성적인 분석이 상당히 어려운 것으로 나타났다.

Table 9. Drag and drag coefficient(CD) of sea anchor models by opening and design area in accordance with velocity and dia.of mouth

dia.of mouth mm	area of mouth m ²	drag, kg				C _D calculated by opening area			
		velocity, m/sec				velocity, m/sec			
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
0.3	0.071	0.082	0.324	0.734	1.275	2.23	2.20	2.22	2.17
0.6	0.283	0.348	1.338	3.064	5.785	2.37	2.28	2.32	2.46

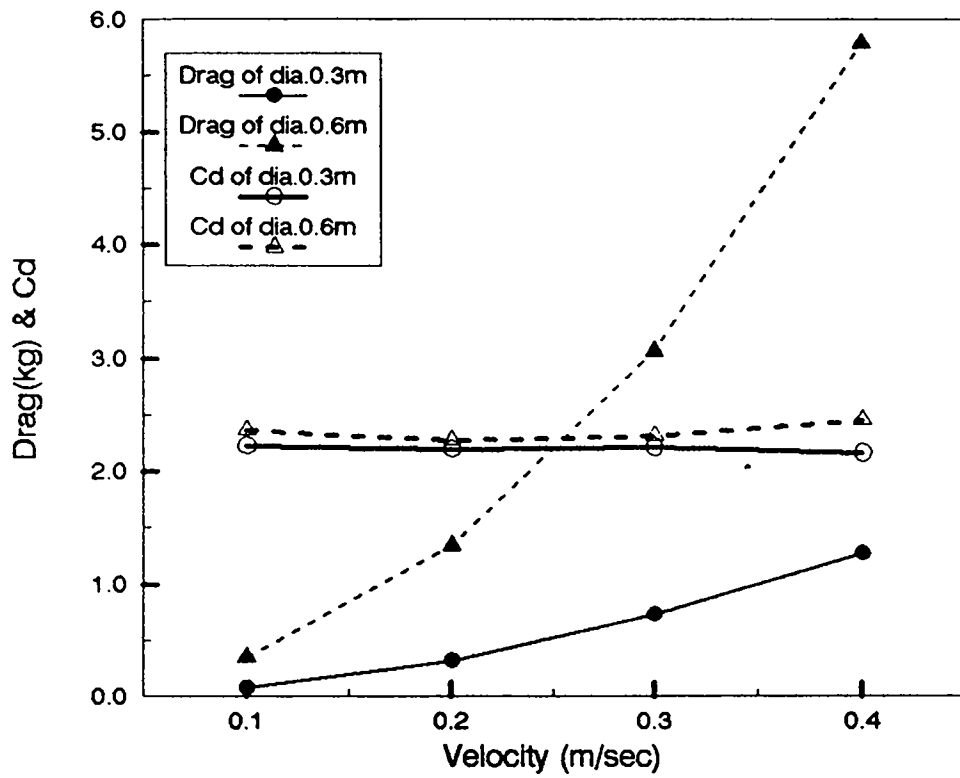


Fig. 17. Efficiency of sea anchor in accordance with velocity and size of model

3. 가시화실험

물뚝 주위에서의 유체흐름을 파악하기 위하여 b/a 가 0.6이고 설계직경이 0.3m 인 낙하산형의 모형을 스테인레스 봉의 틀에 부착하여 유액분사법과 긴 실에 의한 유선실험과 같은 방법으로 가시화실험을 실시하였다. 실험결과를 컴퓨터그래픽으로 재현하여 나타낸 것은 Fig. 18 및 Fig. 19와 같고, 사진으로 나타낸 것은 Photo. 6, Photo. 7 및 Photo. 8과 같다.

가시화실험에서 본체의 테두리에서 와의 발생위치나 발생시간은 무작위적으로 출현하는 것으로 파악되었는데, 이것은 물뚝은 2차원 원호형과는 달리 3차원적인 원호형이기 때문으로 생각되며, 이에 따라 물뚝에서의 힘의 균형은 쉽게 무너지고, 따라서 본체의 예측불허한 좌우상하방향의 움직임과 회전운동이 발생하는 것으로 추측된다.

본체 뒤쪽에는 넓은 영역의 후류가 생성되며, 본체 주위에서의 유선은 본체 테두리에서 어느 정도의 간격을 두고 휘어돌아가는 것이 확인되었으며, 테두리 뒤쪽에서 생성되는 와와 난류의 영향으로 유선은 흐름의 방향이 본체 후류역으로 휘어져 빠른 속도로 빨려 들어가는 것을 알 수 있었으며, 이와 같은 흐름은 테두리 바깥쪽의 약 15cm까지 영향을 미치며, 이 바깥쪽의 흐름은 전개판으로부터 멀리 떨어진 후류역에서도 휘어들어가는 현상을 확인할 수 있었다.

또한, 본체의 내부에는 흘러 들어온 물이 미처 빠져나가지 못하여 생긴 난류성의 수괴가 있으며, 수괴의 덩어리가 너무 커지게 되면 물이 테두리 바깥으로 넘쳐흐르는 것이 확인되었으며, 배수구로는 생각보다도 훨씬 적은 양의 물이 빠져나가는 것으로 파악되었다.

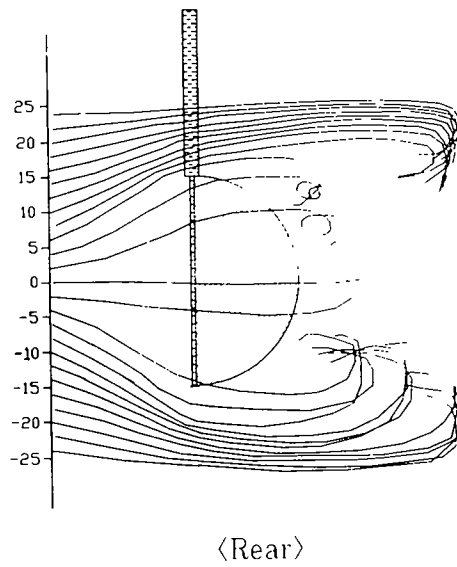
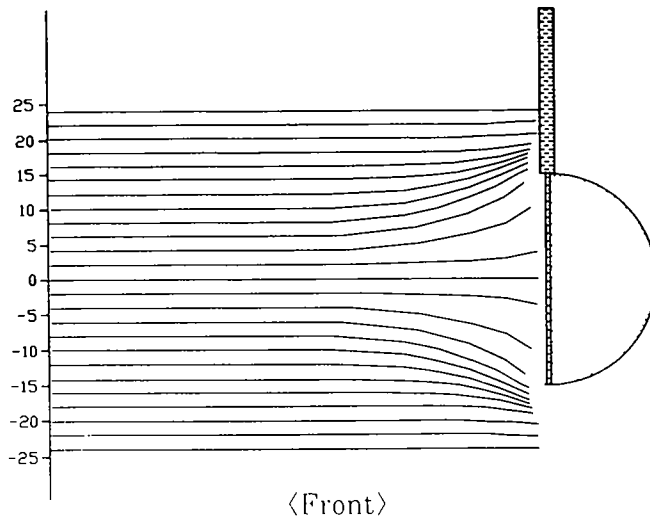


Fig. 18. Flow pattern around the edge of the sea anchor model

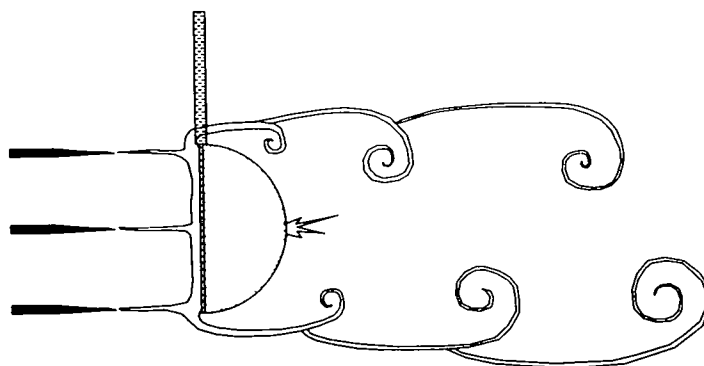
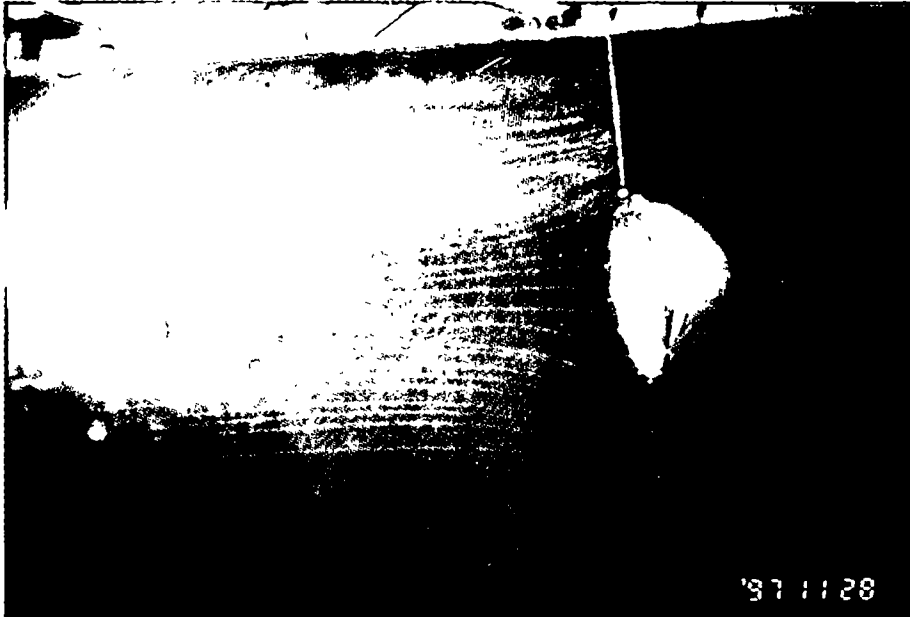
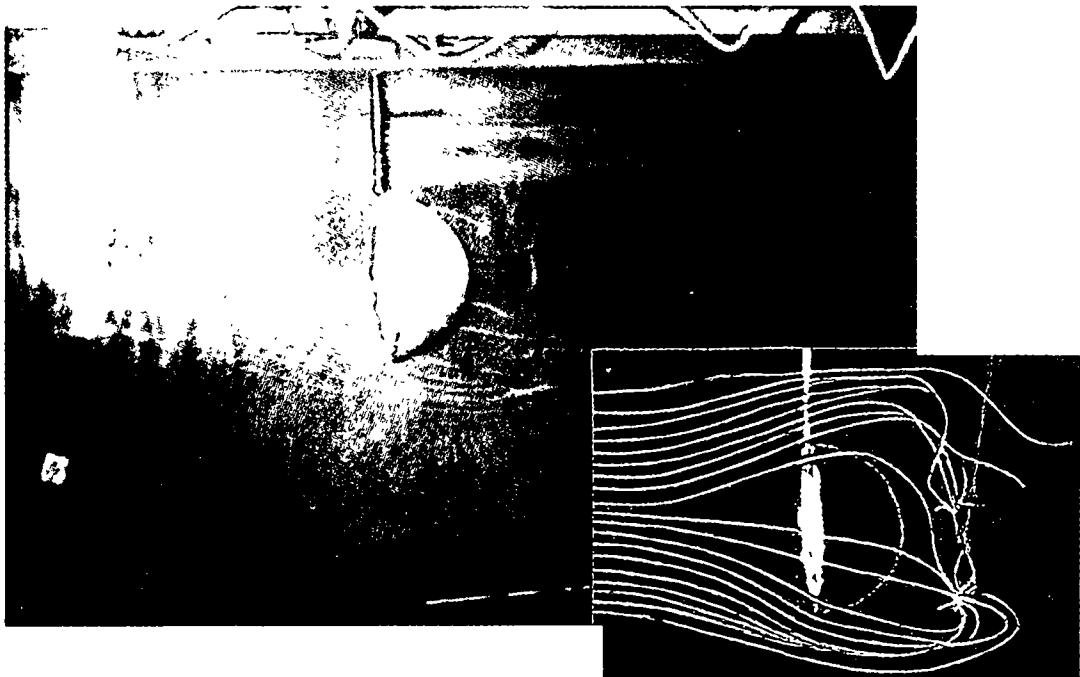


Fig. 19. Separation zone in the wake of the sea anchor model



〈Front〉



〈Rear〉

Photo. 6. Visualization photography of the flow pattern around the edge of the sea anchor model.

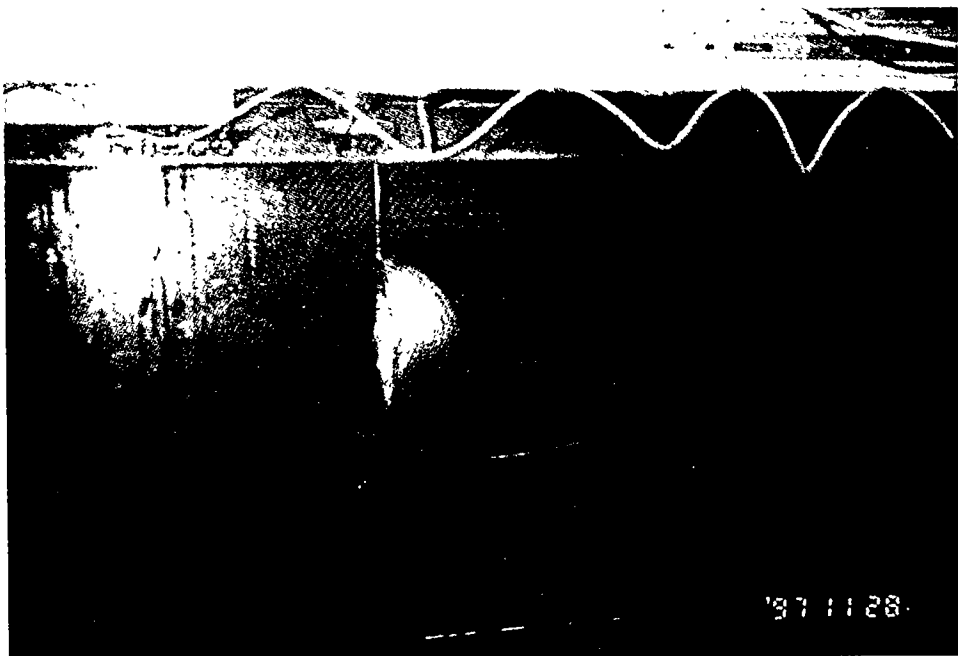
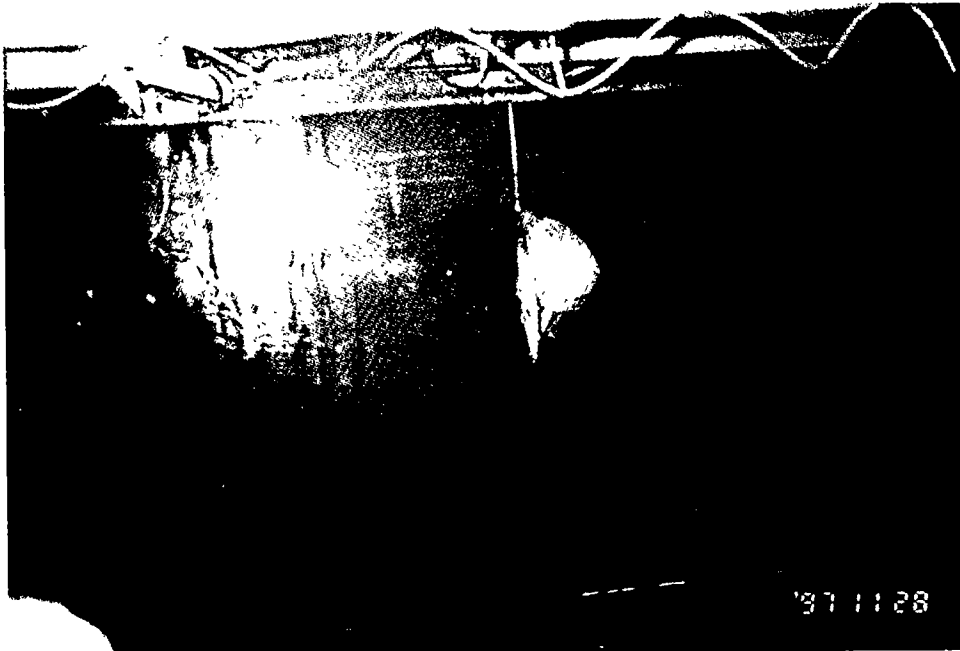


Photo. 7. Visualization photography of the flow pattern around the edge of the sea anchor model by the long twine with 3 ply.

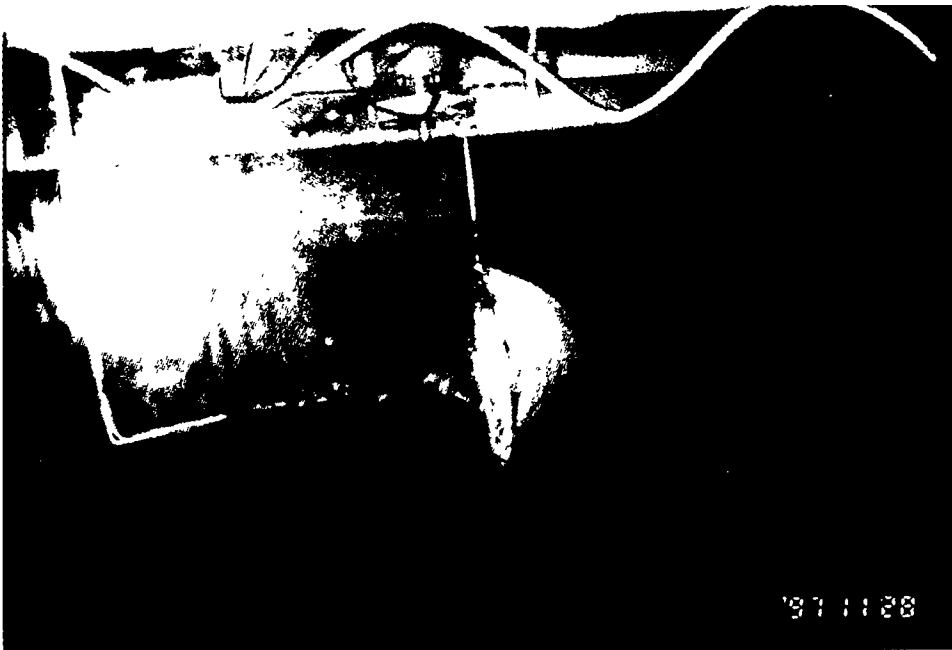


Photo. 8. Visualization photography of the flow pattern around the edge of the sea anchor model by the milk spout method.

제 4 절 요약

본 연구개발사업의 최종목표는 “고성능 물뚫 및 인력절감형 투양묘기의 개발”이며, 위탁연구사업에서는 고성능 물뚫을 개발하기 위하여 모형실험과 시뮬레이션을 통하여 보다 성능이 우수한 물뚫의 형상을 도출하고, 설계지침의 기초자료를 제공하는데 있다.

모형실험을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 형상별 전개성능을 보면, 전개면적과 저항은 낙하산형이 가장 크고, 원추형, 나팔형의 순으로 작았으며, 항력계수는 형상별 차이가 낙하산형, 원추형, 나팔형의 순으로 나타났으나, 전개면적이나 저항에 비하여 그 차이가 상대적으로 작게 나타났다.
2. 형상별 b/a비에 따른 전개성능을 보면, b/a비가 커질수록 전개면적이나 저항, 항력계수 모두 뚜렷하게 증가하는 경향을 보인다.
3. 연줄의 길이별 전개성능을 보면, 연줄길이가 길어질수록 전개면적, 저항, 항력계수가 서서히 증가하는 경향을 보인다.
4. 연줄의 구조에 따른 전개성능을 보면, 종래의 직선형보다는 길이 0.4m로 3등분한 망목형 N4형의 것이 오히려 성능이 우수하게 나타났고, 특히 본체의 회전운동에 따른 연줄의 꼬임은 전혀 나타나지 않았다.
5. 배수구의 크기에 따른 전개성능을 보면, 배수구가 커지면 전개면적이나 항력이 거의 비슷하거나 오히려 다소 커지는 경향을 보인다.
6. 가시화실험에서 와의 발생은 본체의 테두리에서 발생위치나 발생시간은 무작위적으로 출현하고, 본체 뒤쪽에는 넓은 영역의 후류가 생성된다.

본체 주위에서의 유선은 본체 테두리에서 어느 정도의 간격을 두고 휘어돌아가는 것이 확인되었으며, 테두리 뒤쪽에서 생성되는 와와 난류의 영향으로 유선은

흐름의 방향이 본체 후류역으로 휘어져 들어가면서 빠른 속도로 빨려 들어가는 것을 알 수 있었으며, 이와 같은 흐름의 영향은 테두리 바깥으로 상당히 멀리까지 전달되는 것을 알 수 있었다.

또한, 본체의 내부에는 흘러 들어온 물이 미처 빠져나가지 못하여 생긴 난류성의 수괴가 있으며, 수괴의 덩어리가 너무 커지게 되면 물이 테두리 바깥으로 넘쳐흐르는 것이 확인되었으며, 배수구로는 생각보다도 훨씬 적은 양의 물이 빠져나가는 것으로 파악되었다.

제 4 장 물뚝 주위의 유동장 특성계산

제 1 절 서 론

본 장에서는 물뚝의 효율적인 설계 및 운용뿐만 아니라 나아가서 성능 좋은 물뚝 개발에 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 물뚝 주위의 유동장을 수치계산하여 그 유체역학적 특성을 파악하고자 한다.

물뚝은 해류에 의한 유수저항으로 선체의 공기저항에 대항하여 배를 끌고 있고, 또 그 운용상 가급적 작은 규모로 소정의 유수저항을 얻어야 하기 때문, 그 주위의 흐름이 비정상 박리흐름으로 되는 것이 불가피하다. 또한 이 박리흐름은 와류를 동반하여 물뚝의 수중전개형상의 변형 내지 동적 불안정성을 초래하고, 굽기야는 갠버스를 파열시키기도한다.

따라서, 시시각각으로 변화하는 물뚝 주위의 유동특성을 정확히 파악하는 것은 물뚝의 설계상, 안정적인 운용상 매우 중요하나 아직 이에 대한 연구는 보이지 않고 있다.

유동장의 수치해법에는 차분법(FDm), 유한요소법(FEm), 경계요소법(BEm)으로 대별 할 수 있다. 이 중에서 경계요소법의 일종인 이산와법(Discrete Vortex method)은 다른 수치계산법에 비해 흐름의 모델화가 간단하고, 그 위에 물리적 의미가 쉽게 이해되며, 복잡한 흐름이라도 소규모의 계산에 의해 시뮬레이터가 가능하며, 최근 여러가지 형태의 흐름에 널리 응용되고 있다. 또한 이 계산법은 비정상 박리흐름에 적합하고, 유동장내에 격자형성이 필요 없기 때문 표면형태가 곡선인 물뚝의 유동장 계산에 매우 유효하다.

본 장에서는 이산와법을 이용하여 물뚝 주위의 난류유동특성과 양, 항력특성이 시간 및 캬버비에 따라 어떻게 변화하는지 수치시뮬레이션하여 파악하고자 하였다.

제 2 절 계 산 방 법

1. 해석모델 및 경계조건

본 계산에 이용한 이산와법은 경계층과 같이 와도(Vorticity)가 집중된 영역을 다수의 와사(Vortex filament)의 집합으로 보고, 각 와사의 운동을 추적해서 유동장을 해석하는 방법이다. 이 방법은 차분법, 유한요소법 등 다른 계산법에 비해 계산수준이 비교적 간단하고, 레이놀즈 수 흐름의 계산에 적합하여 다양한 물체 주위의 흐름의 해석에 최근 자주 이용되고 있으며, 정량적으로도 충분한 정도를 얻고 있다(4,5). 또한 복잡한 물체에 대해서는 물체표면을 일정수의 특이점으로 근사시켜 이것과 이산와법을 조합하여 계산하기도 한다(6-8).

본 계산에서도 물체표면을 일정수의 속박와(Bound vortex)로 근사시키는 방법을 채택했는데 먼저 해석모델을 Fig. 20에 나타낸다.

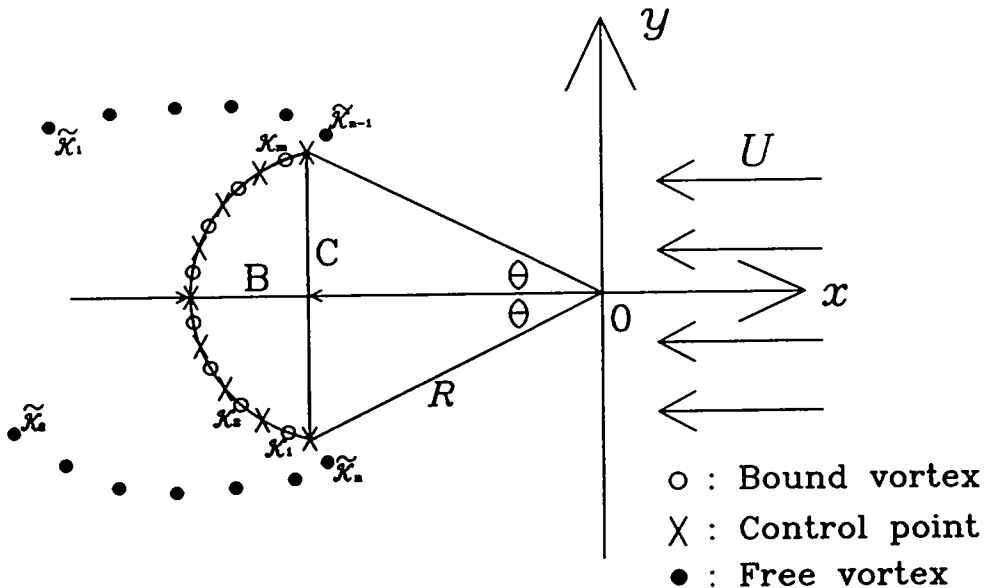


Fig. 20. An analytical model

그림에서 원호형 물뚝의 곡률중심을 직교좌표의 원점으로 잡고, x축을 일정류 U와 역방향, y축을 일정류와 직각방향으로 잡는다. 또한 물뚝의 각 연과 x축과 이루는 각을 θ , 곡률반경을 R로 표시한다. 물뚝은 두께가 없는 원호형 날개로 보고 Fig. 20에서와 같이 m개의 속박와(그림에서 ○표시)를 등간격으로 배치시켜 나타내었고, 자유와(그림에서 ●표시)는 물뚝의 각 연에서부터 원주 방향으로 속박와 간격의 절반 되는 곳에서 방출하는 것으로 했다. 이때 물뚝 주위의 유동장 전체를 나타내는 복소 포텐셜 $F(z)$ 는 다음과 같다

$$F(z) = i \sum_{j=1}^m x_j \log(z - z_j) + i \sum_{l=1}^n \tilde{x}_l \log(z - \tilde{z}_l) - Uz \quad (1)$$

여기서 x_j, z_j 는 물뚝 표면의 흐름을 나타내는 m개의 속박와의 강도 및 위치이고, \tilde{x}_l, \tilde{z}_l 는 각각 박리전단층을 나타내는 n개의 자유와 (Free vortex)의 강도 및 위치이다. 물뚝의 각 연에서 방출된 와는 그 강도를 유지 하면서 후류중으로 이동하기 때문 각 타임스텝마다 결정해야 할 미지수는 m개의 속박와의 강도, 두 개의 자유와의 강도 및 물체표면의 유동함수 Ψ_0 이며, 모두 m+3개이다. 연립 방정식을 풀기 위해 역시 m+3개의 경계조건이 필요한데 인접하는 속박와의 중점(그림에서 ×표시), 즉 m+1개의 검사점에서 유동함수 Ψ 의 조건

$$\Psi = \Psi_0 = \text{constant} \quad (2)$$

Kelvin의 정리

$$\sum_{j=1}^m x_j + \sum_{l=1}^n \tilde{x}_l = 0 \quad (3)$$

아랫연 또는 윗연에서 Kutta의 조건

$$\text{Real}\{e^{i\theta} \cdot \frac{dF}{dz} \big|_{z=z_1}\} = 0 \quad (4)$$

$$\text{Real}\{e^{-i\theta} \cdot \frac{dF}{dz} \big|_{z=z_{m+1}}\} = 0 \quad (5)$$

을 이용한다. 여기서 Real은 실수부, dF/dz 는 복소속도, z_1, z_{m+1} 는 아랫연 및 윗연의 위치를 나타낸다. 위의 Kutta의 조건은 아랫연 또는 윗연 어느 한 곳에서

만 적용해도 문제는 없으나, 이론상으로 흐름의 완전한 대칭을 고려하여, 본 계산에서는 매 타임스텝마다 (4), (5)조건을 번갈아 적용했다. 한편 물뚝의 각 연에서 나오는 ℓ 번째의 자유와 \tilde{z}_ℓ 의 이동은 다음의 Euler식을 이용하여 행한다.

$$\begin{aligned} \tilde{z}_\ell(t+\Delta t) &= \tilde{z}_\ell(t) + \bar{W} \cdot \Delta t \\ W &= \frac{d}{dz} [F(z) - i \tilde{\chi}_\ell \log(z - \tilde{z}_\ell)] \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $\bar{}$ 는 공액복소수, W 는 ℓ 번째의 자유와 \tilde{z}_ℓ 를 제외한 유동장내 전 속박와 및 자유와로부터 유기된 복소속도이며, Δt 는 타임스텝을 표시한다.

2. 양력, 항력 및 특성계수

Fig. 1에서 x방향, y방향으로 물뚝에 작용하는 유체력을 각각 X , Y 라고 하면 그것은 비정상류로 확장한 Blasius 공식을 이용해 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} X - iY &= \frac{i\rho}{2} \oint_B \left(\frac{dF}{dz} \right)^2 dz + i\rho \oint_B \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} d\bar{z} \\ &= 2\pi\rho \left\{ U i \sum_{j=1}^m x_j - \sum_{j=1}^m \sum_{\ell=1}^m x_j \tilde{x}_\ell \right. \\ &\quad \times \frac{1}{\tilde{z}_\ell - z_j} + i \sum_{j=1}^m \dot{x}_j \bar{z}_j \\ &\quad \left. + i \sum_{\ell=n-1}^n \frac{\tilde{x}_\ell}{\Delta t} \bar{z}_\ell \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 \dot{x}_j 는 시간차분으로 다음과 같이 계산한다.

$$\dot{x}_j = \frac{x_j(t) - x_j(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (8)$$

또한 (7)식의 우변 마지막 항에서 $\ell = n-1$, n 은 매 타임스텝마다 물뚝의 각 연에서 새로이 발생한 자유와를 의미한다.

한편 물뚝의 유체역학적 특성을 나타내는 양력계수 C_L 및 항력계수 C_D 는 다음과 같이 정의된다

$$C_L = \frac{Y}{\frac{1}{2} \rho U^2 C} \quad (9)$$

$$C_D = \frac{-X}{\frac{1}{2} \rho U^2 C} \quad (10)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, C 는 물뚝의 현장을 나타낸다.

제 3 절 계산결과 및 고찰

본 계산에서 계산조건(Fig. 20 참조)은 물뚝의 현장 $C=1$, 일정류 $U=1$, 속박의 수 $m=20$ 및 타임스텝 $\Delta t=0.1$ 로 했다. 그리고 물뚝의 캠버비(Camber ratio) B/C 및 무차원 시간 Ut/C 를 계산 변수로 해서 유동장을 계산했다. 처음에는 위 계산조건으로 유동장을 계산했으나 흐름이 완전히 x 축의 대칭이라 300스텝을 지나야 겨우 칼만와가 발생하기 시작했다. 그래서 계산시간을 줄이기 위해 초기 스텝에 유동장을 강제적으로 교란시켰다. 즉 초기 20스텝까지 물뚝의 윗면, 아랫면에서 발생하는 자유와의 강도를 교대로 1.0, -1.0으로 해서 방출시켰다.

먼저 Fig. 21에 캠버비 $B/C=0.1, 0.3, 0.5$ 에서의 볼텍스(vortex) 분포 및 유선을 나타낸다. 볼텍스 분포를 보면 캠버비에 관계없이 윗면에서는 반시계방향(그림에서 ●표시), 아랫면에서는 시계방향(그림에서 ○표시) 볼텍스가 발생하고 있으며, 그것이 후류측에서 교대로 커다란 칼만와를 형성하고 있다. 그리고 칼만와의 간격은 캠버비가 클수록 약간 크게 나타나 있다.

Fig. 22에 캠버비 $B/C=0.1$ 의 경우 항력계수 C_D 및 양력계수 C_L 의 시간변화를 나타낸다. 항력계수는 시간이 증가해도 거의 일정한 값을 기준으로, 양력계수는 0축을 기준으로 해서 일정한 주기로 진동하고 있다.

Fig. 23에 캠버비 $B/C=0.2$ 에서의 항력계수 C_D 및 양력계수 C_L 의 시간변화를 나타낸다. 정성적으로 각 계수는 Fig. 3에서와 거의 같은 경향을 보이고 있으나 캠버비 $B/C=0.2$ 의 경우가 $B/C=0.1$ 의 경우보다 항력계수는 약간 작게 양력계수의 진폭은 훨씬 크게 나타나고 있다.

Table 9. Drag coefficient(CD), lift coefficient(CL) and Strouhal numbers(St) for various camber ratios(B/C).

B/C	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
CD	2.5	2.3	2.4	2.3	2.3
CL	±0.25	±0.44	±0.60	±0.72	±0.88
St	0.208	0.196	0.204	0.187	0.185

Table 9에 다양한 캠버비 B/C에 따른 항력계수 C_D , 양력계수 C_L 및 Strouhal 수 St를 나타낸다. 여기서 각 값은 400스텝까지 계산하여, 흐름이 충분히 발달한 영역, 즉 양력계수의 마지막 2주기만을 기준으로 한 평균값이다. 단 양력계수는 최대값, 최소값을 각각 평균했으며 Strouhal 수 $St=fC/U$ (f : 무차원 진동수)로 계산했다. 먼저 항력계수를 보면 캠버비가 클수록 그 값이 약간 감소한다. 캠버비 B/C=0.5의 경우 항력계수 $C_D=2.3$ 으로 기존의 실험값⁽⁹⁾과 잘 일치하고 있다. 양력계수를 보면 캠버비가 클수록 그 진폭 값이 대폭적으로 증가하고 있다. 또한 Strouhal 수는 캠버비가 클수록 약간 그 값이 감소한다. 즉 Table 9를 전체적으로 보면 항력계수, Strouhal 수는 거의 변화가 없으나 양력계수 값은 캠버비가 증가함에 따라 대폭 증가하고 있어, 물뿔을 설계할 경우 캠버비가 작은 쪽이 다른 성능에서는 거의 차이가 없으면서 특히 동적 안정성이 탁월함을 알 수 있다.

Fig. 24는 시간변화에 따른 볼텍스 분포 및 속도벡터장의 변화를 나타낸다. 그림의 우측에 표시한 A~E는 각각 Fig. 23의 양력곡선의 1주기 상에 표시한 각 점 A~E에 상당한다. 먼저 볼텍스 분포를 보면 물뿔의 배면 즉 좌표 (-1, 0) 근방을 주목해 보면 그림 중의 A와 B에서는 우연에서 발생한 반시계 방향(그림에서 ●표시)의 볼텍스가 그 배면을 지배하고 있고, C와 D에서는 반대로 아랫면에서 발생한 시계방향의 볼텍스(그림에서 ○표시)가 그 배면을 지배하고 있다.

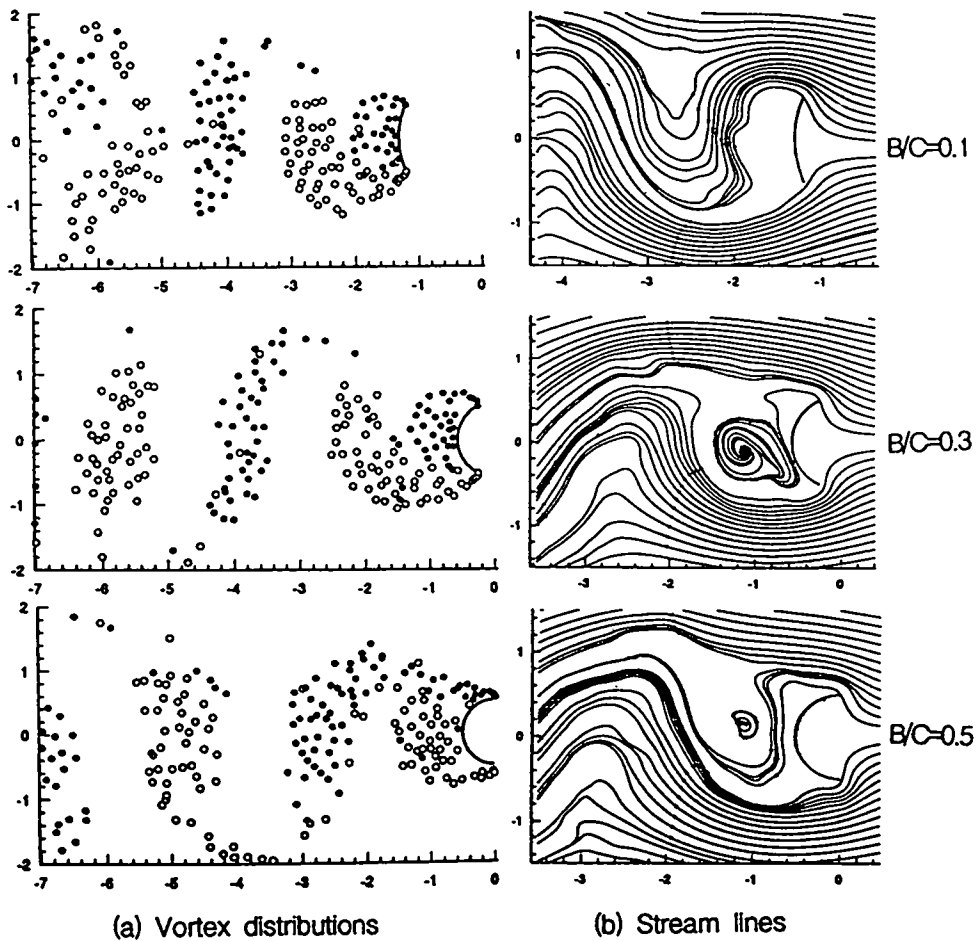


Fig. 21. Flow patterns for various camber ratios($Ut/C=40$)

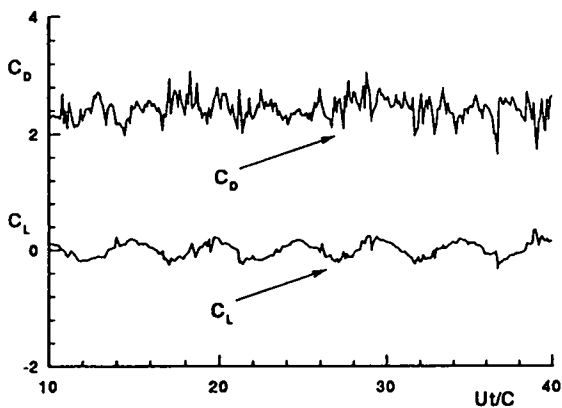


Fig. 22. Drag and lift coefficients with time($B/C=0.1$)

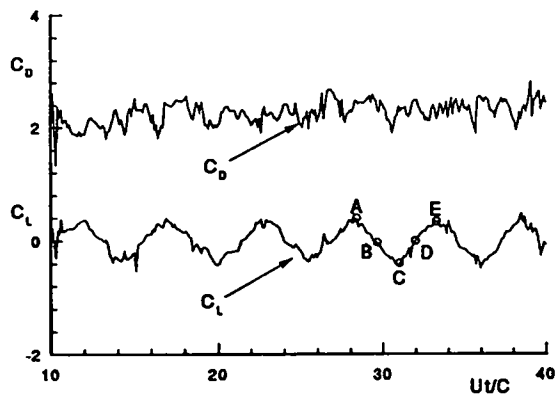


Fig. 23. Drag and lift coefficients with time($B/C=0.2$)

또한 양력계수의 최대점(A 또는 E)에서와 최소점(C)에서 물뚫 배면의 볼텍스 분포의 형상이 서로 반대로 나타나 있다. 즉 그림의 A에서 E까지를 연속해서 보면 +, -방향의 볼텍스 덩어리가 교대로 물뚫 배면에 생성되어 그것이 일정간격의 칼만와를 형성하면서 후류측으로 흘러가고 있다. 이 칼만와가 Fig. 23에 나타난 바와 같은 양력계수의 주기적인 진동을 가져와, 물뚫의 동적 불안정의 원인이 됨을 알 수 있다. Fig. 24의 속도벡터장을 보면 물뚫의 배면에 A와 B에서는 반시계 방향의 볼텍스가 C와 D에서는 시계방향의 볼텍스가 형성되고 있음을 볼 수 있다. 또한 속도벡터장 A의 (-1, 0)점 부근에 위치한 볼텍스가 B에서는 (-1.2, 0)점, C에서는 (-2, 0)점, D에서는 (-2.8, 0)점, E에서는 (-3.6, 0)점 부근으로 점차 이동해 가는 것을 볼 수 있다.

Fig. 25에 시간변화에 따른 유선, 유맥선 및 타임라인을 나타낸다. 그림의 우측에 표시한 A와 C는 각각 Fig. 23에 표시한 양력계수곡선의 최대점 A와 최소점 C에 대응한다. 양력의 최대점과 최소점에서의 유선, 유맥선 및 타임라인 모두 서로 x축에 대칭으로 나타나 있다. 유선분포를 보면 A에서는 물뚫의 윗면 부근의, C에서는 아랫면 부근의 유선간격이 좁게 나타나 있다. 일반적으로 유선간격이 좁은 부분이 유속이 빠르고 압력이 낮아 A에서는 +방향, C에서는 -방향의 양력이 작용됨을 유선분포에서도 유추할 수 있다. 유맥선과 타임라인에서, 특히 물뚫 압력면 부근의 타임라인을 보면 중앙부분이 블록한 형태를 취하고 있어, 중앙부근의 흐름이 양 측면 보다 느림을 알 수 있다. 또한 유선, 유맥선 및 Fig. 24의 속도벡터장에서도 알 수 있듯이 물뚫의 압력면측에 정체한 유체가 서서히 양 연쪽으로 흘러감을 알 수 있다.

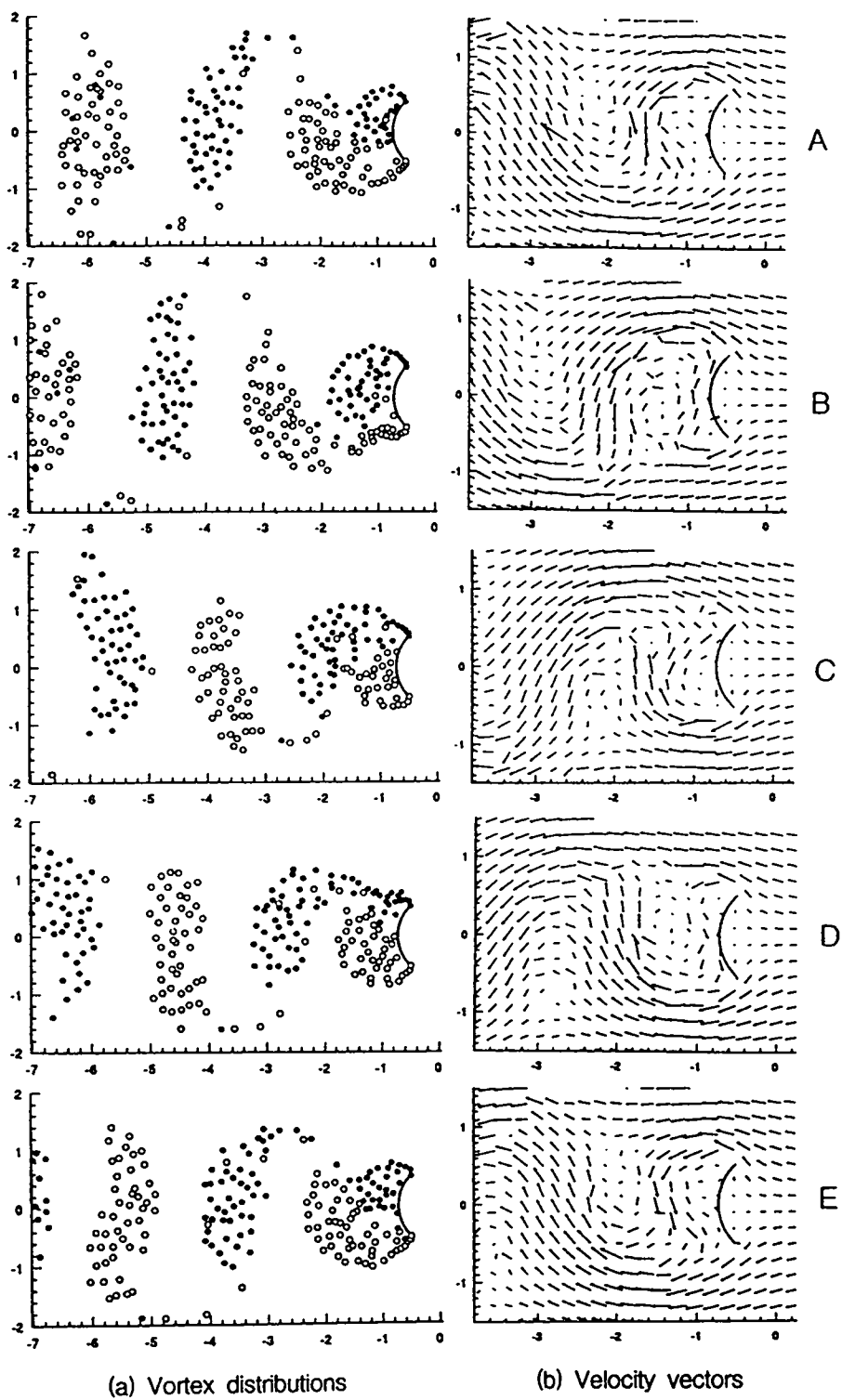


Fig. 24. Flow patterns with time.

(A~E on the figure correspond to those points on Fig. 23)

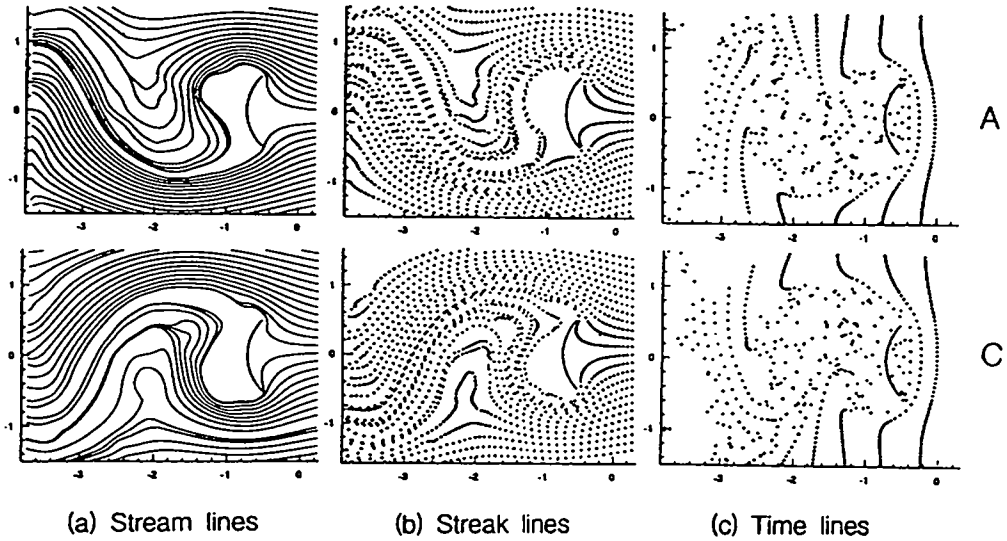


Fig. 25. Flow patterns with time.
 (A~C on the figure correspond to those points on Fig. 23)

제 4 절 결 론

원호형 물뿔의 비정상 흐름특성 및 역학적 특성을 이산와법에 의한 수치계산으로 명확히 했다. 계산결과를 요약하면 다음과 같다.

시간변화에 따라 항력계수는 거의 일정하나 양력계수는 주기적으로 진동하며, 그 진동의 원인은 각 연에서 발생하는 칼만와의 영향이다.

캠버비가 증가함에 따라 항력계수 및 Strouhal 수는 거의 변화가 없으나 양력계수의 진폭은 대폭 증가한다.

압력면측의 유체는 거의 정체상태에 있다.

제 5 장 물뚝에 작용하는 유체력의 해석

오징어 채낚기 어업의 조업시스템을 해석하기 위해서는 물뚝의 동적특성에 대한 유체역학적인 면에서의 예측이 가능해야만 되며, 이를 위하여 다음과 같이 어선과 물뚝에 작용하는 바람 및 조류와의 관계를 수식화하였다.

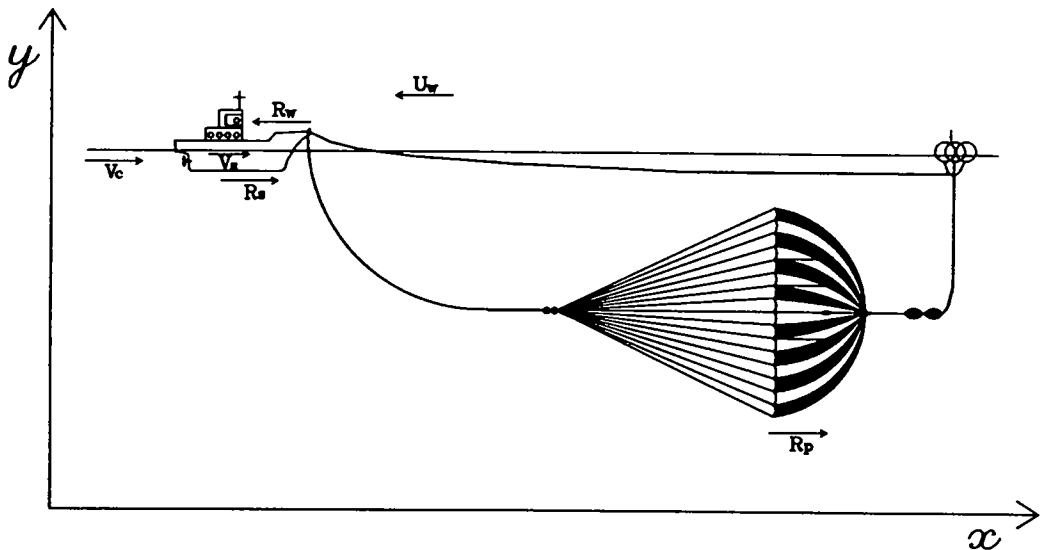


Fig. 26. Analytical model

U_w : wind speed, V_s : ship speed, V_c : current speed

V_R : relative speed between current and ship ($V_c - V_s$),

U_R : relative speed between wind and ship ($U_w + V_s$)

R_w : wind drag of ship, R_s : water drag of ship,

R_p : water drag of sea anchor

Fig. 26에서와 같이 배가 조류속도 V_c , 풍속 $-U_w$ 아래서 물뚝의 항력으로 일정한 속도 V_s 로 떠내려가고 있다면, 배에 미치는 x방향의 전 힘 ΣF_x 는 다음과 같다.

$$\Sigma F_x = m_s a_s \quad (11)$$

단. m_s, a_s : 배의 질량 및 가속도

$$R_p + R_s - R_w = m_s a_s \quad (12)$$

단. R_p : 물돛의 유수저항

R_s : 배의 유수저항

R_w : 배의 공기저항

여기서 배의 가속도 $a_s = dV_s/dt$ 로 정의되나 배의 속도 V_s 가 일정한 것으로 가정했기 때문 $a_s = 0$ 가 된다. 그러므로 (12)식은

$$R_p = R_w - R_s \quad (13)$$

로 된다.

한편

$$R_p = \frac{1}{2} C_D \rho A V_R^2 \quad (14)$$

단. R_p : 물돛의 유수저항(Newton)

C_D : 물돛의 항력계수

ρ : 해수의 밀도 (Kg/m³)

A : 물돛의 입구단면적(m²)

V_R : 조류와 배의 상대속도 ($V_c - V_s$, m/sec)

$$R_w = 0.021 B^2 \frac{U_R^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{0.514}\right)^2 \cdot 9.8 \quad (15)$$

단. R_w : 배의 공기저항(Newton)

B : 선폭(m)

U_R : 공기와 배의 상대속도($(U_w + V_s)$, Knots)

기타 : 1 Knot = 0.514 m/sec, 1 Kg_f = 9.8 N

$$R_s = R_f + R_r \quad (16)$$

단. R_s : 배의 유수저항(Newton)

R_f : 배의 마찰저항(Newton)

R_r : 배의 잉여저항(Newton)

$$R_f = f A V_R^{1.825}$$
$$= 0.2973 \delta \lambda \{1 + 0.0043(15 - t)\} A V_R^{1.825} \quad (17)$$

단. R_f : 배의 마찰저항(Newton)

f : 마찰계수

A : 침수표면적(m²). $A = C \sqrt{D \cdot L}$

C : 계수(≒2.6)

D : 배수량(m³)

L : 배의 길이(m. 수선간장)

V_R : 조류와 배의 상대속도 ($V_c - V_s$, m/sec)

δ : 해수의 비중(≒1.025)

λ : 마찰계수{≒0.1392+0.258/(2.68+L)}

t : 해수의 온도(°C)

$$R_r = R_{wave} + R_{eddy}$$
$$= \frac{bD^{2/3}}{L} V_R^4 \cdot \left(\frac{1}{0.514}\right)^4 \cdot 9.8 \quad (18)$$

단. R_r : 배의 잉여저항(Newton)

R_{wave} : 배의 조파저항(Newton)

R_{eddy} : 배의 조와저항(Newton)

b : 계수(≒0.65)

D : 배수량(m³)

L : 배의 길이(m. 수선간장)

V_R : 조류와 배의 상대속도 ($V_c - V_s$, Knots)

기타 : 1 Knot=0.514 m/sec. 1 Kg_f =9.8 N

여 백

참 고 문 헌

- (1) 이병기, 박승원, 김진건, 1985, "연근해어업개론", 태화출판사, 부산, pp. 112-116.
- (2) 김대안, 고관서, 1987, "어구학", 교문출판사, 서울, pp. 343-345.
- (3) 조태현 등, 1989, "현대한국어구도감", 국립수산진흥원, 경남, pp. 89-91.
- (4) Sarpkaya, T., 1986, "An Analytical Study of Separated Flow about Circular Cylinders," Trans. of the ASmE, J. of Basic Engineering, Vol.90, pp. 511-518.
- (5) Sung, H. T., Kim, Y. N. and Hyun, J. M., 1994, "Discrete Vortex Simulation of Pulsating Flow Behind a Normal Plate," Trans. of the ASmE, J. of Fluids Engineering, Vol.116, pp. 862-869.
- (6) Inamuro, T., Saito, T. and Adachi, T., 1984 "A Numerical Analysis of Unsteady Separated Flow by the Discrete Vortex method Combined with the Singularity method," Computer & Structure, Vol.19, No.1-2, pp. 75-84.
- (7) Tsutahara, M., Kimura, T. and Ro, K. D., 1989, "Unsteady Pressure and Force in the Discrete Vortex mehtods," Trans. of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 32, No.97, pp. 129-142.
- (8) 노기덕, 1993, "Weis-Fogh형 선박 추진기구의 개발 (유동장의 가시화 및 수치 해석)", 大韓機械學會論文集, 第17卷, 第2號, pp. 426~437.
- (9) 노병준, 박종호, 1992, "유체역학", 동명사, 서울, pp. 372.
- (10) 權炳國, 1993, 展開板의 流體力學的 特性에 관한 研究, 부경대학교 박사학위논문.

여 백

부 록

시뮬레이션 프로그램

```
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CC
CCCCCCCC FLOW AROUND SEA ANCHOR(CHORD TYPE) IN UNSTEADY FLOW CCCCCCCC
CC          (SC-F.FOR)
CC          BY      RO KI-DEOK      1997.5.
CC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          ----- PRINCIPAL NOTATION -----
C
C          C   : CHORD
C          U   : VELOCITY OF UNIFORM FLOW
C          MR  : NUMBER OF RETRAINED VORTEX
C          Z   : COORDINATES OF CONTROL POINT
C          ZR  : COORDINATES OF RETRAINED VORTEX
C          KR  : VALUE OF RETRAINED VORTEX
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
CCCCCCC NAME :SC-F.FOR
C$LARGE
C-----
C          COMPLEX CMPLX,IAL,CEXP,Z(50),ZR(50),ZE(1000),ZEV(1000)
C          INTEGER T,TS(10)
C          REAL A(50,50),KR(50),KE(1000),XY(50),KO(50)
C          REAL CL(500),CD(500),KEP,KEQ
C          COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM4/KR
C          COMMON /CM5/ZE /CM6/KE /CM7/ZEV /CM8/A
C          COMMON /CM9/U,CKI /CM10/XY /CM11/NE
C          COMMON /CM12/KO /CM13/CX,CY /CM14/TS /CM15/AL /CM18/C,SIG
C          COMMON /CM19/ALL,THI /CM20/SAL,EAL
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C          OPEN(4,FILE='PRN:',STATUS='UNKNOWN')
C
C          GO TO 34
C          WRITE(*,10)
10  FORMAT(' C= ? , MR= ? ')
C          READ(*,*) C,MR
15  WRITE(*,20)
20  FORMAT(' SIG(0.025)= ? ')
C          READ(*,*) SIG
C          WRITE(*,30)
30  FORMAT(' DT(0.05)= ? ,B(0.0-0.4)= ? ')
C          READ(*,*) B
34  WRITE(*,35)
35  FORMAT(' B(0.0-0.4) = ? ')
C          READ(*,*) B
C          WRITE(*,40)
40  FORMAT(' T(END STEP FOR VCLD )=? ')
C          READ(*,*) T
C
C          U=1.0
C          C=1.0
C          MR=20
C          SIG=0.025
```



```

DT=0.1
RO=1.0
PI=3.14159265
RM=FLOAT(MR)
CK1=C/RM
ALL=0.0
RR=(B*B+(0.5*C)**2)/(2.0*B)
THI=2.0*ASIN(0.5*C/RR)
DTH=THI/(2.0*RM)
SAL=PI+THI/2.0
EAL=PI-THI/2.0
AL=THI/2.0
C
45 WRITE(*,50) C,MR
50 FORMAT(' C= ',F4.2,' MR= ',I4)
WRITE(*,60) DE,SIG
60 FORMAT(' DE= ',F7.4,' SIG= ',F7.4)
WRITE(*,70) DT,B,SU
70 FORMAT(' DT= ',F5.3,' B= ',F5.2,' SU= ',F4.2)
C
DO 80 I=1,10
WRITE(*,90) I
90 FORMAT(' DATA STEP ? PLEASE INPUT ! TS(',I5,')=')
READ(*,*) TS(I)
J=I
IF (TS(I).EQ.0) GO TO 100
80 CONTINUE
C
GO TO 120
C
100 DO 110 I=J,10
TS(I)=0
110 CONTINUE
C
120 WRITE(*,130) TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
C
WRITE(4,130) TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
130 FORMAT(' TS( 1 - 5 ) = ',5I4)
WRITE(*,140) TS(6),TS(7),TS(8),TS(9),TS(10)
C
WRITE(4,140) TS(6),TS(7),TS(8),TS(9),TS(10)
140 FORMAT(' TS( 6 - 10 ) = ',5I4)

OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\VCL.PAR',STATUS='UNKNOWN')
WRITE(10,*) T,TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
WRITE(10,*) B,C,U,MR,DT,SIG
CLOSE(10)
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC READ Z,ZR CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
DO 160 I=1,MR+1
RI=FLOAT(I)
ETH=SAL-(RI-1.0)*THI/RM
IAL=CMPLX(0.0,ETH)
Z(I)=RR*CEXP(IAL)
IF (LEQ,MR+1) GO TO 160
ETH=SAL-(RI-0.5)*THI/RM
IAL=CMPLX(0.0,ETH)
ZR(I)=RR*CEXP(IAL)
160 CONTINUE
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC MAIN START CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

C
    PJ=1.0
    NP=1
    NE=0
    DO 500 NN=1,T
    NE=NE+2
C
    DSH=SAL+DTH
    IAL=CMPLX(0.0,DSH)
    ZE(NE)=RR*CEXP(IAL)
    DEH=EAL-DTH
    IAL=CMPLX(0.0,DEH)
    ZE(NE-1)=RR*CEXP(IAL)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC SUSEI START
CCCC PJ=1.0
    IF (PJ.EQ.1.0) THEN
    CALL GYO1
        PJ=2.0
        WRITE (*,190)
190 FORMAT(' PASSED GYO1 !')
    ELSE
    CALL GYO2
        PJ=1.0
        WRITE (*,200)
200 FORMAT(' PASSED GYO2 !')
    END IF
CC DO 211 I=1,MR+3
CC DO 212 J=1,MR+4
CC WRITE (*,215) I,J,A(I,J)
CC 215 FORMAT(' A(' ,J3,',',J3,') =',F7.4)
CC 212 CONTINUE
CC 211 CONTINUE
C
    CALL SIMEQ(MR+3)
    WRITE (*,220)
220 FORMAT(' PASSED SIMEQ !')
    DO 230 I=1,MR
        KR(I)=XY(I)
230 CONTINUE
    IF (PJ.EQ.2.0) THEN
        KE(NE-1)=XY(MR+1)
        KE(NE)=XY(MR+2)
    ELSE
        KE(NE-1)=XY(MR+2)
        KE(NE)=XY(MR+1)
    END IF
C GO TO 233
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC DISTURBANCE START CCC
    NTC=20
    DK1=1.0
    DK2=-1.0
    IF (NN.GT.NTC) GO TO 233
    IF (NP.EQ.1) THEN
        KE(NE-1)=KE(NE-1)*DK1
        KE(NE)=KE(NE)*DK2
        NP=2
    ELSE
        KE(NE-1)=KE(NE-1)*DK2
        KE(NE)=KE(NE)*DK1
        NP=1
    END IF
C

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC DISTURBANCE END      SUSEI END CCCC
CC          KE(NE-1)=XY(MR+1)
CC          KE(NE)=XY(MR+2)
CC          DO 236 I=1,MR+3
CC          WRITE (*,235) LXY(I)
CC 235  FORMAT(' KR(' ,I3,' ) =',F6.4)
CC 236  CONTINUE
233      IF (NN.NE.1) GO TO 250
          DO 240 I=1,MR
          KO(I)=KR(I)
240      CONTINUE
          GO TO 270
C
250  CALL CXY(DT)
      WRITE (*,260)
260  FORMAT(' PASSED CXY !')
C
270  CALL DFZKE(NN,RR)
      WRITE (*,280)
280  FORMAT(' PASSED DFZKE !')
      IF (NN.EQ.T) GO TO 320
C
      CALL VEL(DT)
      WRITE (*,290)
290  FORMAT(' PASSED VEL !')
      DO 300 I=1,NE
          ZE(I)=ZE(I)+ZEV(I)*DT
300  CONTINUE
      CALL NEG(RR)
      WRITE (*,310)
310  FORMAT(' PASSED NEG !')
C
320  RO=1.0
      COF=0.5*RO*U*U+C
      CCL=CX/COF
      CCD=CX/COF
      CL(NN)=CCL
      CD(NN)=CCD
C      WRITE(4,330) NN,CCL,CCD
C 330  FORMAT(' ( ,I3,' ) CL=',F7.3,' CD=',F7.3)
      WRITE(*,340) NN,CCL,CCD
340  FORMAT(' ( ,I3,' ) CL=',F7.3,' CD=',F7.3)
C
500  CONTINUE
C
      OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\CLD.PLT',STATUS='UNKNOWN')
      WRITE(10,*) 'ZONE F=POINT, I=',T
      NAA=80
      AA=0.6
      DO 610 I=1,T
CCCCC  GO TO 615
          IF (LLT.NAA.OR.LGT.T-2) THEN
              GO TO 615
          ELSE IF (ABS(CL(I)).GE.AA.AND.ABS(CL(I+1)).GE.AA) THEN
              CL(I)=(CL(I-1)+CL(I+2))/2.0
              CD(I)=(CD(I-1)+CD(I+2))/2.0
          ELSE IF (ABS(CL(I)).GE.AA) THEN
              CL(I)=(CL(I-1)+CL(I+1))/2.0
              CD(I)=(CD(I-1)+CD(I+1))/2.0
          END IF
615  SI=FLOAT(I)*DT/C
      WRITE(10,*) SI, CL(I),-CD(I)

```

```

610 CONTINUE
CLOSE(10)
STOP
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC          SUBROUTINE CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C   SUBROUTINE SIMEQ(N)
C
C   INTEGER FLAG
C   REAL A(50,50),XY(50)
C   COMMON /CMB/A /CM10/XY
C
C   FLAG=0
C   NP1=N+1
C   NM1=N-1
C   DO 10 K=1,NM1
C   KP1=K+1
C   MAX=K
C   DO 20 I=KP1,N
C   IF(ABS(A(MAX,K)).GT.ABS(A(MAX,K))) MAX=I
20 CONTINUE
C   IF(ABS(A(MAX,K)).LT.1.0E-7) GO TO 99
C   IF(MAX.EQ.K) GO TO 30
C   DO 40 J=K,NP1
C   T=A(K,J)
C   A(K,J)=A(MAX,J)
C   A(MAX,J)=T
40 CONTINUE
30 DO 50 I=KP1,N
C   T=A(I,K)/A(K,K)
C   DO 60 J=KP1,NP1
C   A(I,J)=A(I,J)-T*A(K,J)
60 CONTINUE
50 CONTINUE
10 CONTINUE
C
C   DO 70 KB=1,NM1
C   KM1=N-KB
C   K=KM1+1
C   A(K,NP1)=A(K,NP1)/A(K,K)
C   T=-A(K,NP1)
C   DO 80 I=1,KM1
C   A(I,NP1)=A(I,NP1)+T*A(I,K)
80 CONTINUE
70 CONTINUE
C   A(1,NP1)=A(1,NP1)/A(1,1)
C
C   DO 90 I=1,N
C   XY(I)=A(1,NP1)
90 CONTINUE
C   RETURN
C
C   99 FLAG=1
C   RETURN
C   END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC          SUBROUTINE CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C   SUBROUTINE GYO1
C
C   COMPLEX IAL,CMPLX,CEXP,CLOG,SIM,Z(50),ZR(50),ZE(1000)
C   COMPLEX A1,AA,BB
C   REAL A(50,50),KE(1000)

```

```

COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM5/ZE
COMMON /CM6/KE /CM8/A /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM15/AL /CM18/C,SIG
C
  IAL=CMPLX(0.0,AL)
C
  DO 100 I=1,MR+1
    DO 110 J=1,MR
      A1=CLOG(Z(I)-ZR(J))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(L,J)=AIMAG(AA)
110  CONTINUE
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE-1))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(L,MR+1)=AIMAG(AA)
C
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(L,MR+2)=AIMAG(AA)
C
      A(L,MR+3)=-1.0
C
      SIM=(0.0,0.0)
      IF (NE.LE.2) GO TO 125
      DO 120 K=1,NE-2
        A1=CLOG(Z(I)-ZE(K))
        AA=(0.0,1.0)*A1
        SIM=SIM+KE(K)*AA
120  CONTINUE
125  A(L,MR+4)=-1.0*AIMAG(-U*Z(I)+SIM)
C
100  CONTINUE
C
  DO 200 J=1,MR
    A1=Z(1)-ZR(J)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(IAL)*AA
    A(MR+2,J)=REAL(BB)
200  CONTINUE
C
    A1=Z(1)-ZE(NE-1)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(IAL)*AA
    A(MR+2,MR+1)=REAL(BB)
C
204  A1=Z(1)-ZE(NE)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(IAL)*AA
    A(MR+2,MR+2)=REAL(BB)
C
206  A(MR+2,MR+3)=0.0
C
    SIM=(0.0,0.0)
    IF (NE.LE.2) GO TO 215
    DO 210 K=1,NE-2
      A1=Z(1)-ZE(K)
      AA=(0.0,1.0)/A1
      SIM=SIM+KE(K)*AA
210  CONTINUE
215  BB=CEXP(IAL)
    A(MR+2,MR+4)=-1.0*REAL(BB*(-U+SIM))
C
217  DO 220 J=1,MR+2

```



```

      AI=Z(MR+1)-ZE(NE)
      AA=(0.0,1.0)/AI
      BB=CEXP(LAL)*AA
      A(MR+2,MR+1)=REAL(BB)
C
204      AI=Z(MR+1)-ZE(NE-1)
      AA=(0.0,1.0)/AI
      BB=CEXP(LAL)*AA
      A(MR+2,MR+2)=REAL(BB)
C
206      A(MR+2,MR+3)=0.0
C
      SIM=(0.0,0.0)
      IF (NE.LE.2) GO TO 215
DO 210 K=1,NE-2
      AI=Z(MR+1)-ZE(K)
      AA=(0.0,1.0)/AI
      SIM=SIM+KE(K)*AA
210      CONTINUE
215      BB=CEXP(LAL)
      A(MR+2,MR+4)=-1.0*REAL(BB*(-U+SIM))
C
217      DO 220 J=1,MR+2
      A(MR+3,J)=1.0
220      CONTINUE
C
      A(MR+3,MR+3)=0.0
C
      SV=0.0
      IF (NE.LE.2) GO TO 235
DO 230 K=1,NE-2
      SV=SV+KE(K)
230      CONTINUE
235      A(MR+3,MR+4)=-SV
C
      RETURN
      END
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC          SUSEI END CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      SUBROUTINE VEL(DT)
C
      COMPLEX CMPLX,CONJG,ZR(50),ZE(1000),ZEV(1000)
      COMPLEX AI,AA,ZERC,FZA,FZB,FZ(4)
      REAL KR(50),KE(1000)
      COMMON /CM1/MR /CM3/ZR /CM4/KR /CM5/ZE
      COMMON /CM6/KE /CM7/ZEV /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM18/C,SIG
C
DO 10 I=1,NE
      IF (KE(I).EQ.0.0) GO TO 50
DO 20 J=1,2
      IF (J.EQ.1) GO TO 21
      IF (J.EQ.2) GO TO 22
21      ZERC=ZE(I)
      GO TO 25
22      ZERC=ZE(I)+DT/2.0*FZ(1)
C
25      FZA=(0.0,0.0)
DO 30 K=1,MR
      AI=ZERC-ZR(K)
      AA=1.0/AI

```



```
REAL XP(700),YP(700),XM(700),YM(700),GX(100),GY(100)
COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM5/ZE /CM6/KE /CM11/NE /CM14/TS
COMMON /CM19/ALL,THI /CM20/SALEAL
```

C

C

```
DO 10 I=1,10
  J=I
  IF (TS(I).EQ.0) GO TO 20
10 CONTINUE
```

C

```
GO TO 21
```

C

```
20 DO 30 I=J,10
  NV(I)=0
30 CONTINUE
```

C

C

```
21 IF (NT.EQ.TS(1)) GO TO 101
  IF (NT.EQ.TS(2)) GO TO 102
  IF (NT.EQ.TS(3)) GO TO 103
  IF (NT.EQ.TS(4)) GO TO 104
  IF (NT.EQ.TS(5)) GO TO 105
  IF (NT.EQ.TS(6)) GO TO 106
  IF (NT.EQ.TS(7)) GO TO 107
  IF (NT.EQ.TS(8)) GO TO 108
  IF (NT.EQ.TS(9)) GO TO 109
  IF (NT.EQ.TS(10)) GO TO 110
```

C

```
GO TO 111
```

C

```
101 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE1.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(1)=NE
  GO TO 120
102 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE2.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(2)=NE
  GO TO 120
103 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE3.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(3)=NE
  GO TO 120
104 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE4.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(4)=NE
  GO TO 120
105 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE5.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(5)=NE
  GO TO 120
106 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE6.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(6)=NE
  GO TO 120
107 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE7.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(7)=NE
  GO TO 120
108 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE8.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(8)=NE
  GO TO 120
109 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE9.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(9)=NE
  GO TO 120
110 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZKE10.PLT',STATUS='UNKNOWN')
  NV(10)=NE
  GO TO 120
```

C

C

```

120    KP=0
      KM=0
      DO 130 I=1,NE
        AA=ZE(I)
        XX(I)=REAL(AA)
        YY(I)=AIMAG(AA)
        IF (XX(I).LT.-7.5) GO TO 130
        IF (KE(I).LT.0.0) GO TO 140
        KP=KP+1
        XP(KP)=XX(I)
        YP(KP)=YY(I)
        GO TO 130
140    KM=KM+1
        XM(KM)=XX(I)
        YM(KM)=YY(I)
130 CONTINUE
C
      WRITE(10,*) 'ZONE F=POINT, I=', KP
      DO 150 I=1,KP
        WRITE(10,*) XP(I),YP(I)
150 CONTINUE
C
      WRITE(10,*) 'ZONE F=POINT, I=', KM
      DO 160 I=1,KM
        WRITE(10,*) XM(I),YM(I)
160 CONTINUE
C
      KB=61
      WRITE(10,*) 'ZONE F=POINT, I=', KB
      D=THI/FLOAT(KB-1)
      DO 165 K=1,KB
        RK=FLOAT(K)
        DD=SAL-(RK-1.0)*D
        GX(K)=RR*COS(DD)
        GY(K)=RR*SIN(DD)
        WRITE(10,*) GX(K),GY(K)
165 CONTINUE
C
      CLOSE(10)
C
C      IF (NT.EQ.TS(1)) GO TO 170
C      GO TO 190
C 170 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\BODY.TG',STATUS='UNKNOWN')
C      WRITE(10,*) 'GEOMETRY X=1.0, Y=0.5, T=LINE'
C      WRITE(10,*) 1
C      WRITE(10,*) 61
C      D=THI/60.0
C      DO 180 K=1,61
C        RK=FLOAT(K)
C        DD=SAL-(RK-1.0)*D
C        GX(K)=RR*COS(DD)*0.5
C        GY(K)=RR*SIN(DD)*0.5
C        WRITE(10,*) GX(K),GY(K)
C 180 CONTINUE
C      CLOSE(10)
C
C 190 IF ((TS(J).EQ.0.AND.NT.EQ.TS(J-1)).OR.NT.EQ.TS(10)) GO TO 200
      GO TO 111
C
C 200 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\ZNV10.PLT',STATUS='UNKNOWN')
C
      DO 210 I=1,10

```

```

        WRITE(10,*) NV(I)
210 CONTINUE
C
      CLOSE(10)
C
C
111 RETURN
      END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      SUBROUTINE CXY(DT)
C
      COMPLEX CONJG,ZR(50),ZE(1000)
      COMPLEX A1,A2,AA
      COMPLEX GA,GB,GC,GD,GG
      REAL KR(50),KE(1000)
      REAL KO(50),KN(50),KD(50),KDN1,KDN2
      COMMON /CM1/MR /CM3/ZR /CM4/KR /CM5/ZE
      COMMON /CM6/KE /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM12/KO
      COMMON /CM13/CX,CY
C
      PI=3.1415926535
      RO=1.0
      CC=0.0
      DO 10 J=1,MR
      CC=CC+KR(J)
10 CONTINUE
      GA=- (0.0,1.0)*U*CC
C
      AA=(0.0,0.0)
      DO 20 J=1,MR
      DO 30 K=1,NE
      A1=KE(K)/(ZE(K)-ZR(J))
      A2=A1*KR(J)
      AA=AA+A2
30 CONTINUE
20 CONTINUE
      GB=AA
C
      DO 40 I=1,MR
      KN(I)=KR(I)
40 CONTINUE
      DO 50 I=1,MR
      KD(I)=(KN(I)-KO(I))/DT
50 CONTINUE
      KDN1=KE(NE-1)/DT
      KDN2=KE(NE)/DT
C
      AA=(0.0,0.0)
      DO 60 J=1,MR
      AA=AA+KD(J)*CONJG(ZR(J))
60 CONTINUE
      GC=-1.0*(0.0,1.0)*AA
C
      A1=-1.0*(0.0,1.0)*KDN1*CONJG(ZE(NE-1))
      A2=-1.0*(0.0,1.0)*KDN2*CONJG(ZE(NE))
      GD=A1+A2
C
      GG=-2.0*PI*RO*(GA+GB+GC+GD)
C
      CX=REAL(GG)
      CY=-AIMAG(GG)

```

```

C
      DO 70 I=1,MR
        KO(I)=KN(I)
70    CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

-----4ADFC28571D
Content-Type: text/plain; charset=us-ascii; name="Sc-s.for"
Content-Transfer-Encoding: 7bit
Content-Disposition: inline; filename="Sc-s.for"

```

```

CC
CCCCCCCC FLOW AROUND SEA ANCHOR(CHORD TYPE) IN UNSTEADY FLOW CCCCCCCCCC
CC              (SC-S.FOR)
CC                      BY    RO KI-DEOK    1997.5.
CC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

C
C      ----- PRINCIPAL NOTATION -----
C

```

```

C      C      : CHORD
C      U      : VELOCITY OF UNIFORM FLOW
C      MR     : NUMBER OF RETRAINED VORTEX
C      Z      : COORDINATES OF CONTROL POINT
C      ZR     : COORDINATES OF RETRAINED VORTEX
C      KR     : VALUE OF RETRAINED VORTEX
C

```

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

C
CCCCCCC NAME :SC-S.FOR
C
C$LARGE

```

```

C-----
      COMPLEX CMPLX,IAL,CEXP,Z(50),ZR(50),ZE(1000),ZEV(1000),ZP(25,500)
      INTEGER T,TS(10)
      REAL A(50,50),KR(50),KE(1000),XY(50)
      REAL KEP,KEQ
      COMMON/CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM4/KR
      COMMON /CM5/ZE /CM6/KE /CM7/ZEV /CM8/A
      COMMON /CM9/U,CK1 /CM10/XY /CM11/NE
      COMMON /CM14/TS /CM15/AL /CM16/ZP /CM17/NT1 /CM18/C,SIG
      COMMON /CM19/ALL,THI /CM20/SAL,EAL

```

```

C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

C
      OPEN(4,FILE='PRN:',STATUS='UNKNOWN')

```

```

C
      GO TO 34
      WRITE(*,10)
10  FORMAT(' C= ? , MR= ? ')
      READ(*,*) C,MR
15  WRITE(*,20)
20  FORMAT(' SIG(0.025)= ? ')
      READ(*,*) SIG
      WRITE(*,30)
30  FORMAT(' DT(0.05)= ? ')
      READ(*,*) DT
34  WRITE(*,35)
35  FORMAT(' B(0.0-0.4)= ? ')

```

```

      READ(**,*) B
      WRITE(*,40)
40  FORMAT(' T(END STEP FOR STL)=? ')
      READ(**,*) T
C
      DT=0.1
      NS=25
      U=1.0
      C=1.0
      MR=20
      SIG=0.025
      RO=1.0
      PI=3.14159265
      RM=FLOAT(MR)
      CK1=C/RM
      ALL=0.0
      RR=(B*B+(0.5*C)**2)/(2.0*B)
      THI=2.0*ASIN(0.5*C/RR)
      DTH=THI/(2.0*RM)
      SAL=PI+THI/2.0
      EAL=PI-THI/2.0
      AL=THI/2.0
C
45  WRITE(*,50) C,MR
50  FORMAT(' C= ',F4.2,' MR= ',I4)
      WRITE(*,60) DE,SIG
60  FORMAT(' DE= ',F7.4,' SIG= ',F7.4)
      WRITE(*,70) DT,B,SU
70  FORMAT(' DT= ',F5.3,' B= ',F5.2,' SU= ',F4.2)
C
      DO 80 I=1,10
          WRITE(*,90) I
90  FORMAT(' DATA STEP ? PLEASE INPUT ! TS(' ,I5,')=')
          READ(**,*) TS(I)
          J=I
          IF (TS(I).EQ.0) GO TO 100
80  CONTINUE
C
          GO TO 120
C
100 DO 110 I=J,10
          TS(I)=0
110 CONTINUE
C
120 WRITE(*,130) TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
C
130 WRITE(4,130) TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
      FORMAT(' TS( 1 - 5 ) = ',5I4)
      WRITE(*,140) TS(6),TS(7),TS(8),TS(9),TS(10)
C
140 WRITE(4,140) TS(6),TS(7),TS(8),TS(9),TS(10)
      FORMAT(' TS( 6 - 10 ) = ',5I4)
C
      OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL.PAR',STATUS='UNKNOWN')
      WRITE(10,*) T,TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
      WRITE(10,*) B,C,U,MR,DT,SIG,NS
      CLOSE(10)
C
      CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC READ Z,ZR CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      DO 160 I=1,MR+1
          RI=FLOAT(I)
          ETH=SAL-(RI-1.0)*THI/RM

```

```

      IAL=CMPLX(0.0,ETH)
      Z(I)=RR*CEXP(IAL)
      IF (LEQ.MR+1) GO TO 160
      ETH=SAL-(RI-0.5)*TH/RM
      IAL=CMPLX(0.0,ETH)
      ZR(I)=RR*CEXP(IAL)
160 CONTINUE
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC          MAIN START CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      PJ=1.0
      NP=1
      NE=0
      NT1=0
      DO 500 NN=1,T
      NE=NE+2
      NT1=NT1+1
C
      DSH=SAL+DTH
      IAL=CMPLX(0.0,DSH)
      ZE(NE)=RR*CEXP(IAL)
      DEH=EAL-DTH
      IAL=CMPLX(0.0,DEH)
      ZE(NE-1)=RR*CEXP(IAL)
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC SUSEI START
CCCCC PJ=1.0
      IF (PJ.EQ.1.0) THEN
      CALL GYO1
      PJ=2.0
      WRITE (*,190)
190 FORMAT(' PASSED GYO1 !')
      ELSE
      CALL GYO2
      PJ=1.0
      WRITE (*,200)
200 FORMAT(' PASSED GYO2 !')
      END IF
C
      CALL SIMEQ(MR+3)
      WRITE (*,220)
220 FORMAT(' PASSED SIMEQ !')
      DO 230 I=1,MR
      KR(I)=XY(I)
230 CONTINUE
      IF (PJ.EQ.2.0) THEN
      KE(NE-1)=XY(MR+1)
      KE(NE)=XY(MR+2)
      ELSE
      KE(NE-1)=XY(MR+2)
      KE(NE)=XY(MR+1)
      END IF
C
      GO TO 233
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC DISTURBANCE START CCC

      NTC=20
      DK1=1.0
      DK2=-1.0
      IF (NN.GT.NTC) GO TO 233
      IF (NP.EQ.1) THEN
      KE(NE-1)=KE(NE-1)*DK1

```

```

      KE(NE)=KE(NE)*DK2
      NP=2
    ELSE
      KE(NE-1)=KE(NE-1)*DK2
      KE(NE)=KE(NE)*DK1
      NP=1
    END IF
  C
  CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC DISTURBANCE END      SUSEI END CCCC
  233 CALL STZP(NS,DT,RR)
      WRITE (*,260)
  260 FORMAT(' PASSED STZP !')
  C
      IF (NN.EQ.T) GO TO 500
  C
  CALL VEL(DT)
      WRITE (*,290)
  290 FORMAT(' PASSED VEL !')
      DO 300 I=1,NE
          ZE(I)=ZE(I)+ZEV(I)*DT
  300 CONTINUE
      CALL NEG(RR)
      WRITE (*,310)
  310 FORMAT(' PASSED NEG !')
  C
      WRITE (*,320) NN
  320 FORMAT(' STEP NO= ',I4)
  C
  500 CONTINUE
  C
  CLOSE(4)
  STOP
  END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC SUBROUTINE CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
  C
  SUBROUTINE SIMEQ(N)
  C
  INTEGER FLAG
  REAL A(50,50),XY(50)
  COMMON /CMB/A /CM10/XY
  C
  FLAG=0
  NP1=N+1
  NMI=N-1
  DO 10 K=1,NMI
  KP1=K+1
  MAX=K
  DO 20 I=KP1,N
  IF(ABS(A(MAX,K)).GT.ABS(A(MAX,K))) MAX=I
  20 CONTINUE
  IF(ABS(A(MAX,K)).LT.1.0E-7) GO TO 99
  IF(MAX.EQ.K) GO TO 30
  DO 40 J=K,NP1
  T=A(K,J)
  A(K,J)=A(MAX,J)
  A(MAX,J)=T
  40 CONTINUE
  30 DO 50 I=KP1,N
  T=A(I,K)/A(K,K)
  DO 60 J=KP1,NP1
  A(I,J)=A(I,J)-T*A(K,J)
  60 CONTINUE

```

```

50 CONTINUE
10 CONTINUE
C
DO 70 KB=1,NM1
  KM1=N-KB
  K=KM1+1
  A(K,NP1)=A(K,NP1)/A(K,K)
  T=-A(K,NP1)
DO 80 I=1,KM1
  A(I,NP1)=A(I,NP1)+T*A(I,K)
80 CONTINUE
70 CONTINUE
  A(1,NP1)=A(1,NP1)/A(1,1)
C
DO 90 I=1,N
  XY(I)=A(I,NP1)
90 CONTINUE
  RETURN
C
99 FLAG=1
  RETURN
  END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC SUSEI START CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
SUBROUTINE GYO1
C
COMPLEX IAL,CMPLX,CEXP,CLOG,SIM,Z(50),ZR(50),ZE(1000)
COMPLEX A1,AA,BB
REAL A(50,50),KE(1000)
COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM5/ZE
COMMON /CM6/KE /CM8/A /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM15/AL /CM18/C,SIG
C
IAL=CMPLX(0.0,AL)
C
DO 100 I=1,MR+1
  DO 110 J=1,MR
    A1=CLOG(Z(I)-ZR(J))
    AA=(0.0,1.0)*A1
    A(I,J)=AIMAG(AA)
110 CONTINUE
    A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE-1))
    AA=(0.0,1.0)*A1
    A(I,MR+1)=AIMAG(AA)
C
    A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE))
    AA=(0.0,1.0)*A1
    A(I,MR+2)=AIMAG(AA)
C
    A(I,MR+3)=-1.0
C
    SIM=(0.0,0.0)
    IF (NE.LE.2) GO TO 125
    DO 120 K=1,NE-2
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(K))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      SIM=SIM+KE(K)*AA
120 CONTINUE
125 A(I,MR+4)=-1.0*AIMAG(-U*Z(I)+SIM)
C
100 CONTINUE
C
DO 200 J=1,MR

```



```

110 CONTINUE
    A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE))
    AA=(0.0,1.0)*A1
    A(LMR+1)=AIMAG(AA)
C
    A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE-1))
    AA=(0.0,1.0)*A1
    A(LMR+2)=AIMAG(AA)
C
    A(LMR+3)=-1.0
C
    SIM=(0.0,0.0)

        IF (NE.LE.2) GO TO 125
    DO 120 K=1,NE-2
        A1=CLOG(Z(I)-ZE(K))
        AA=(0.0,1.0)*A1
        SIM=SIM+KE(K)*AA
120 CONTINUE
125    A(LMR+4)=-1.0*AIMAG(-U*Z(I)+SIM)
C
100 CONTINUE
C
    DO 200 J=1,MR
        A1=Z(MR+1)-ZR(J)
        AA=(0.0,1.0)/A1
        BB=CEXP(LAL)*AA
        A(MR+2,J)=REAL(BB)
200 CONTINUE
C
    A1=Z(MR+1)-ZE(NE)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(LAL)*AA
    A(MR+2,MR+1)=REAL(BB)
C
204    A1=Z(MR+1)-ZE(NE-1)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(LAL)*AA
    A(MR+2,MR+2)=REAL(BB)
C
206    A(MR+2,MR+3)=0.0
C
    SIM=(0.0,0.0)
        IF (NE.LE.2) GO TO 215
    DO 210 K=1,NE-2
        A1=Z(MR+1)-ZE(K)
        AA=(0.0,1.0)/A1
        SIM=SIM+KE(K)*AA
210 CONTINUE
215    BB=CEXP(LAL)
        A(MR+2,MR+4)=-1.0*REAL(BB*(-U+SIM))
C
217    DO 220 J=1,MR+2
        A(MR+3,J)=1.0
220 CONTINUE
C
    A(MR+3,MR+3)=0.0
C
    SV=0.0
        IF (NE.LE.2) GO TO 235
    DO 230 K=1,NE-2
        SV=SV+KE(K)

```



```

REAL KE(1000)
COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM5/ZE
COMMON /CM6/KE /CM11/NE /CM18/C,SIG
C
  A1=AIMAG(CLOG(Z(1)))
  A0=AIMAG(CLOG(Z(MR+1)))
C
DO 10 K=1,NE
  X=REAL(ZE(K))
  Y=AIMAG(ZE(K))
  RXY=SQRT(X*X+Y*Y)
  TH=AIMAG(CLOG(ZE(K)))
  IF ((TH.GT.A0.OR.TH.LT.A1).AND.RXY.LE.RR) GO TO 15
  GO TO 10
15  NE=NE-1
    DO 20 KK=K,NE
      KE(KK)=KE(KK+1)
      ZE(KK)=ZE(KK+1)
20  CONTINUE
10 CONTINUE
  RETURN
  END
CCCCCCCCCCCC STREAK LINE (CHORD TYPE SEA ANCHOR) CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
CCCCCCCC NAME: OC3.FOR
C
  SUBROUTINE STZP(NS,DT,RR)
C
C
  COMPLEX CMPLX,ZV1,ZV2,ZV,ZVL
  COMPLEX Z(50),ZR(50),ZE(1000),ZP(25,500)
  INTEGER T,TS(10),KK(25),OO
  REAL KR(50),KE(1000),GX(100),GY(100)
  COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM4/KR /CM5/ZE /CM6/KE
  COMMON /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM14/TS /CM16/ZP /CM17/NT1 /CM18/C,SIG
  COMMON /CM19/ALL,THI /CM20/SAL,EAL
C
  OO=1+MR/2
  OX=REAL(Z(OO))
  OY=AIMAG(Z(OO))
  ST=OX+1.0*C
  SE=OX-3.0*C
  HW=3.0*C
C
DO 10 I=1,NS
  HHW=HW/FLOAT(NS+1)*FLOAT(I)
  ZP(I,1)=CMPLX(ST,OY-HW/2.0+HHW)
  NN=NT1
  KJ=0
  DO 20 J=1,NN
    IF(KJ.EQ.1) GO TO 20
    ZV1=ZVL(ZP(I,J))
    ZV2=ZVL(ZP(I,J)+DT*ZV1)
    ZV=(ZV1+ZV2)/2.0
    ZP(I,J+1)=ZP(I,J)+DT*ZV
    IF(REAL(ZP(I,J+1)).GE.SE) GO TO 20
    NN=J
    KJ=1
20  CONTINUE
  KK(I)=NN
10 CONTINUE
C

```

```

IF (NT1.EQ.TS(1)) GO TO 101
IF (NT1.EQ.TS(2)) GO TO 102
IF (NT1.EQ.TS(3)) GO TO 103
IF (NT1.EQ.TS(4)) GO TO 104
IF (NT1.EQ.TS(5)) GO TO 105
IF (NT1.EQ.TS(6)) GO TO 106
IF (NT1.EQ.TS(7)) GO TO 107
IF (NT1.EQ.TS(8)) GO TO 108
IF (NT1.EQ.TS(9)) GO TO 109
IF (NT1.EQ.TS(10)) GO TO 110
C
GO TO 111
C
101 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL1.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
102 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL2.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
103 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL3.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
104 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL4.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
105 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL5.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
106 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL6.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
107 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL7.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
108 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL&.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
109 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL9.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
110 OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\STL10.PLT',STATUS='UNKNOWN')
GO TO 120
C
120 IKT=0
DO 125 I=1,NS
IKT=IKT+KK(I)+1
125 CONTINUE
C
WRITE(10,*) 'ZONE F=POINT, I=', IKT
DO 130 I=1,NS
NN=KK(I)
DO 140 J=1,NN+1
XP=REAL(ZP(I,J))
YP=AIMAG(ZP(I,J))
WRITE(10,*) XP,YP
140 CONTINUE
130 CONTINUE
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC BODY CCCCCCCCCCCCCCCCCC
KB=61
WRITE(10,*) 'ZONE F=POINT, I=', KB
D=THI/FLOAT(KB-1)
DO 165 K=1,KB
RK=FLOAT(K)
DD=SAL-(RK-1.0)*D
GX(K)=RR*COS(DD)
GY(K)=RR*SIN(DD)
WRITE(10,*) GX(K),GY(K)
165 CONTINUE
C
CLOSE(10)
C

```

```

111 RETURN
END
CCCCCCCCCCCCCCCC FUNCTION PROGRAM CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C   COMPLEX FUNCTION ZVL(Z)
C
C   COMPLEX CONJG,ZR(50),ZE(1000)
C   COMPLEX Z,A1,AA
C   REAL KR(50),KE(1000)
C   COMMON /CM1/MR /CM3/ZR /CM4/KR /CM5/ZE
C   COMMON /CM6/KE /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM18/C,SIG
C
C   ZVL=(0.0,0.0)
C
C   DO 10 I=1,MR
C     A1=Z-ZR(I)
C     AA=1.0/A1
C     IF(CABS(A1).LT.SIG) GO TO 15
C     ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KR(I)
C     GO TO 10
15   ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KR(I)*CABS(A1)**2/SIG**2
10 CONTINUE
C
C   DO 20 I=1,NE
C     A1=Z-ZE(I)
C     AA=1.0/A1
C     IF(CABS(A1).LT.SIG) GO TO 25
C     ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KE(I)
C     GO TO 20
25   ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KE(I)*CABS(A1)**2/SIG**2
20 CONTINUE
C
C   ZVL=CONJG(ZVL)-U
C
C   RETURN
C   END

```

-----4ADFC28571D
Content-Type: text/plain; charset=us-ascii; name="Sc-t.for"
Content-Transfer-Encoding: 7bit
Content-Disposition: inline; filename="Sc-t.for"

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CC
CCCCCCCC FLOW AROUND SEA ANCHOR(CHORD TYPE) IN UNSTEADY FLOW
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CC          (SC-T.FOR)
CC
CC          BY RO KI-DEOK 1997.5.
CC
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

C ----- PRINCIPAL NOTATION -----

- C C : CHORD
- C U : VELOCITY OF UNIFORM FLOW
- C MR : NUMBER OF RETRAINED VORTEX
- C Z : COORDINATES OF CONTROL POINT
- C ZR : COORDINATES OF RETRAINED VORTEX
- C KR : VALUE OF RETRAINED VORTEX

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C

```

CCCCCC NAME :SC-T.FOR

C

CSLARGE

C-----

```
COMPLEX CMPLX,IAL,CEXP,Z(50),ZR(50),ZE(1000),ZEV(1000),ZP(60,60)
INTEGER T,TS(10),KT(60)
REAL A(50,50),KR(50),KE(1000),XY(50)
REAL KEP,KEQ
COMMON/CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM4/KR
COMMON /CM5/ZE /CM6/KE /CM7/ZEV /CM8/A
COMMON /CM9/U,CK1 /CM10/XY /CM11/NE
COMMON /CM14/TS /CM15/AL /CM16/ZP /CM17/NT1 /CM18/C,SIG
COMMON /CM19/KT /CM20/SAL,EAL,THI
```

C

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC INPUT PARAMETER CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

C

C

OPEN(4,FILE='PRN:',STATUS='UNKNOWN')

C

GO TO 34

WRITE(*,10)

10 FORMAT(' C= ? , MR= ? ')

READ(*,*) C,MR

15 WRITE(*,20)

20 FORMAT(' SIG(0.025)= ? ')

READ(*,*) SIG

WRITE(*,30)

30 FORMAT(' DT(0.1)= ? ')

READ(*,*) DT

34 WRITE(*,35)

35 FORMAT(' B(0.0-0.4)= ? ')

READ(*,*) B

WRITE(*,40)

40 FORMAT(' T(END STEP FOR TML)=? ')

READ(*,*) T

C

DT=0.1

NS=60

IT=5

U=1.0

C=1.0

MR=20

SIG=0.025

RO=1.0

PI=3.14159265

RM=FLOAT(MR)

CK1=C/RM

ALL=0.0

RR=(B*B+(0.5*C)**2)/(2.0*B)

THI=2.0*ASIN(0.5*C/RR)

DTH=THI/(2.0*RM)

SAL=PI+THI/2.0

EAL=PI-THI/2.0

AL=THI/2.0

C

45 WRITE(*,50) C,MR

50 FORMAT(' C= 'F4.2' MR= 'I4)

WRITE(*,60) DE,SIG

60 FORMAT(' DE= 'F7.4' SIG= 'F7.4)

WRITE(*,70) DT,B,SU

70 FORMAT(' DT= 'F5.3' B= 'F5.2' SU= 'F4.2)

C

```

DO 80 I=1,10
  WRITE(*,90) I
90  FORMAT(' DATA STEP ? PLEASE INPUT ! TS(',15,')=')
  READ(*,*) TS(I)
  J=I
  IF (TS(I).EQ.0) GO TO 100
80 CONTINUE
C
  GO TO 120
C
100 DO 110 I=J,10
  TS(I)=0
110 CONTINUE
C
120 WRITE(*,130) TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
C  WRITE(4,130) TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
130  FORMAT(' TS( 1 - 5 ) = ',5I4)
  WRITE(*,140) TS(6),TS(7),TS(8),TS(9),TS(10)
C  WRITE(4,140) TS(6),TS(7),TS(8),TS(9),TS(10)
140  FORMAT(' TS( 6 - 10 ) = ',5I4)
C
  OPEN(10,FILE='C:\POSTCRPT\DATA\TML.PAR',STATUS='UNKNOWN')
  WRITE(10,*) T,TS(1),TS(2),TS(3),TS(4),TS(5)
  WRITE(10,*) B,C,U,MR,DT,SIG,NS,IT
  CLOSE(10)
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC READ Z,ZR CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
  DO 160 I=1,MR+1
  RI=FLOAT(I)
  ETH=SAL-(RI-1.0)*THI/RM
  IAL=CMPLX(0.0,ETH)
  Z(I)=RR*CEXP(IAL)
  IF (I.EQ.MR+1) GO TO 160
  ETH=SAL-(RI-0.5)*THI/RM
  IAL=CMPLX(0.0,ETH)
  ZR(I)=RR*CEXP(IAL)
160 CONTINUE
C
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC MAIN START CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
  PJ=1.0
  NP=1
  NE=0
  NT1=0
  JP=0
  DO 500 NN=1,T
  NE=NE+2
  NT1=NT1+1
C
  DSH=SAL+DTH
  IAL=CMPLX(0.0,DSH)
  ZE(NE)=RR*CEXP(IAL)
  DEH=EAL-DTH
  IAL=CMPLX(0.0,DEH)
  ZE(NE-1)=RR*CEXP(IAL)
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC SUSEI START
CCCCC PJ=1.0
      IF (PJ.EQ.1.0) THEN

```



```

CALL GYO1
  PJ=20
  WRITE (*,190)
190 FORMAT(' PASSED GYO1 !')
ELSE
CALL GYO2
  PJ=1.0
  WRITE (*,200)
200 FORMAT(' PASSED GYO2 !')
END IF
C
CALL SIMEQ(MR+3)
  WRITE (*,220)
220 FORMAT(' PASSED SIMEQ !')
  DO 230 I=1,MR
    KR(I)=XY(I)
230 CONTINUE
IF (PJ.EQ.2.0) THEN
  KE(NE-1)=XY(MR+1)
  KE(NE)=XY(MR+2)
ELSE
  KE(NE-1)=XY(MR+2)
  KE(NE)=XY(MR+1)
END IF
C
GO TO 233
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC DISTURBANCE START CCC
  NTC=20
  DK1=1.0
  DK2=-1.0
  IF (NN.GT.NTC) GO TO 233
  IF (NP.EQ.1) THEN
    KE(NE-1)=KE(NE-1)*DK1
    KE(NE)=KE(NE)*DK2
    NP=2
  ELSE
    KE(NE-1)=KE(NE-1)*DK2
    KE(NE)=KE(NE)*DK1
    NP=1
  END IF
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC DISTURBANCE END      SUSEI END CCCC
233 CALL TML(NS,DT,IT,JP,RR)
  WRITE (*,260)
260 FORMAT(' PASSED TML !')
C
  IF (NN.EQ.T) GO TO 500
C
CALL VEL(DT)
  WRITE (*,290)
290 FORMAT(' PASSED VEL !')
  DO 300 I=1,NE
    ZE(I)=ZE(I)+ZEV(I)*DT
300 CONTINUE
CALL NEG(RR)
  WRITE (*,310)
310 FORMAT(' PASSED NEG !')
C
  WRITE (*,320) NN
320 FORMAT(' STEP NO= ',I4)
C
500 CONTINUE
C

```

```

CLOSE(4)
STOP
END
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC      SUBROUTINE CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C   SUBROUTINE SIMEQ(N)
C
C   INTEGER FLAG
C   REAL A(50,50),XY(50)
C   COMMON /CMB/A /CM10/XY
C
C   FLAG=0
C   NP1=N+1
C   NM1=N-1
C   DO 10 K=1,NM1
C   KP1=K+1
C   MAX=K
C   DO 20 I=KP1,N
C   IF(ABS(A(MAX,K)).GT.ABS(A(MAX,K))) MAX=I
C 20 CONTINUE
C   IF(ABS(A(MAX,K)).LT.1.0E-7) GO TO 99
C   IF(MAX.EQ.K) GO TO 30
C   DO 40 J=K,NP1
C   T=A(K,J)
C   A(K,J)=A(MAX,J)
C   A(MAX,J)=T
C 40 CONTINUE
C 30 DO 50 I=KP1,N
C   T=A(I,K)/A(K,K)
C   DO 60 J=KP1,NP1
C   A(I,J)=A(I,J)-T*A(K,J)
C 60 CONTINUE
C 50 CONTINUE
C 10 CONTINUE
C
C   DO 70 KB=1,NM1
C   KM1=N-KB
C   K=KM1+1
C   A(K,NP1)=A(K,NP1)/A(K,K)
C   T=-A(K,NP1)
C   DO 80 I=1,KM1
C   A(I,NP1)=A(I,NP1)+T*A(I,K)
C 80 CONTINUE
C 70 CONTINUE
C   A(1,NP1)=A(1,NP1)/A(1,1)
C
C   DO 90 I=1,N
C   XY(I)=A(1,NP1)
C 90 CONTINUE
C   RETURN
C
C 99 FLAG=1
C   RETURN
C   END
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC      SUSEI START CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C   SUBROUTINE GYO1
C
C   COMPLEX IAL,CMPLX,CEXP,CLOG,SIM,Z(50),ZR(50),ZE(1000)
C   COMPLEX A1,AA,BB
C   REAL A(50,50),KE(1000)

```

```

COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM5/ZE
COMMON /CM6/KE /CM8/A /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM15/AL /CM18/C,SIG
C
  IAL=CMPLX(0.0,AL)
C
  DO 100 I=1,MR+1
    DO 110 J=1,MR
      A1=CLOG(Z(I)-ZR(J))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(I,J)=AIMAG(AA)
110    CONTINUE
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE-1))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(I,MR+1)=AIMAG(AA)
C
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(I,MR+2)=AIMAG(AA)
C
      A(I,MR+3)=-1.0
C
      SIM=(0.0,0.0)
      IF (NE.LE.2) GO TO 125
      DO 120 K=1,NE-2
        A1=CLOG(Z(I)-ZE(K))
        AA=(0.0,1.0)*A1
        SIM=SIM+KE(K)*AA
120    CONTINUE
125    A(I,MR+4)=-1.0*AIMAG(-U*Z(I)+SIM)
C
100  CONTINUE
C
  DO 200 J=1,MR
    A1=Z(1)-ZR(J)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(IAL)*AA
    A(MR+2,J)=REAL(BB)
200  CONTINUE
C
    A1=Z(1)-ZE(NE-1)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(IAL)*AA
    A(MR+2,MR+1)=REAL(BB)
C
204  A1=Z(1)-ZE(NE)
    AA=(0.0,1.0)/A1
    BB=CEXP(IAL)*AA
    A(MR+2,MR+2)=REAL(BB)
C
206  A(MR+2,MR+3)=0.0
C
    SIM=(0.0,0.0)
    IF (NE.LE.2) GO TO 215
    DO 210 K=1,NE-2
      A1=Z(1)-ZE(K)
      AA=(0.0,1.0)/A1
      SIM=SIM+KE(K)*AA
210  CONTINUE
215  BB=CEXP(IAL)
      A(MR+2,MR+4)=-1.0*REAL(BB*(-U+SIM))
C
217  DO 220 J=1,MR+2

```

```

      A(MR+3,J)=1.0
220  CONTINUE
C
      A(MR+3,MR+3)=0.0
C
      SV=0.0
      IF (NE.LE.2) GO TO 235
      DO 230 K=1,NE-2
      SV=SV+KE(K)
230  CONTINUE

235  A(MR+3,MR+4)=-SV
C
      RETURN
      END
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
      SUBROUTINE GYO2
C
      COMPLEX IAL,CMPLX,CEXP,CLOG,SIM,Z(50),ZR(50),ZE(1000)
      COMPLEX A1,AA,BB
      REAL A(50,50),KE(1000)
      COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM5/ZE
      COMMON /CM6/KE /CM8/A /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM15/AL /CM18/C,SIG
C
      IAL=CMPLX(0.0,-AL)
C
      DO 100 I=1,MR+1
      DO 110 J=1,MR
      A1=CLOG(Z(I)-ZR(J))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(I,J)=AIMAG(AA)
110  CONTINUE
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(I,MR+1)=AIMAG(AA)
C
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(NE-1))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      A(I,MR+2)=AIMAG(AA)
C
      A(I,MR+3)=-1.0
C
      SIM=(0.0,0.0)
      IF (NE.LE.2) GO TO 125
      DO 120 K=1,NE-2
      A1=CLOG(Z(I)-ZE(K))
      AA=(0.0,1.0)*A1
      SIM=SIM+KE(K)*AA
120  CONTINUE
125  A(I,MR+4)=-1.0*AIMAG(-U*Z(I)+SIM)
C
100  CONTINUE
C
      DO 200 J=1,MR
      A1=Z(MR+1)-ZR(J)
      AA=(0.0,1.0)/A1
      BB=CEXP(IAL)*AA
      A(MR+2,J)=REAL(BB)
200  CONTINUE
C

```



```

INTEGER T,TS(10),KT(60),OO
REAL KR(50),KE(100),GX(100),GY(100)
COMMON /CM1/MR /CM2/Z /CM3/ZR /CM4/KR /CM5/ZE /CM6/KE
COMMON /CM9/U,CK1 /CM11/NE /CM14/TS /CM16/ZP /CM17/NT1
COMMON /CM18/C,SIG /CM19/KT /CM20/SAL,EAL,THI
C
OO=1+MR/2
OX=REAL(Z(OO))
OY=AIMAG(Z(OO))
ST=OX+1.0*C
SE=OX-3.0*C
HW=3.0*C
JP=JP+1
C
IF (NT1.EQ.1) THEN
DO 10 I=1,NS
KT(I)=1
HHW=HW/FLOAT(NS+1)*FLOAT(I)
ZP(I,1)=CMPLX(ST,OY-HW/2.0+HHW)
10 CONTINUE
END IF
C
IF (JP.EQ.IT) THEN
DO 20 I=1,NS
NN=KT(I)
DO 30 J=NN,1,-1
ZP(I,J+1)=ZP(I,J)
30 CONTINUE
KT(I)=NN+1
HHW=HW/FLOAT(NS+1)*FLOAT(I)
ZP(I,1)=CMPLX(ST,OY-1.5*C+HHW)
20 CONTINUE
JP=0
END IF
C
DO 40 I=1,NS
NN=KT(I)
KJ=0
DO 50 J=1,NN
IF(KJ.EQ.1) GO TO 50
ZV1=ZVL(ZP(I,J))
ZV2=ZVL(ZP(I,J))+DT*ZV1
ZV=(ZV1+ZV2)/2.0
ZP(I,J)=ZP(I,J)+DT*ZV
IF(REAL(ZP(I,J)).GE.SE) GO TO 50
NN=J
KJ=1
50 CONTINUE
KT(I)=NN
40 CONTINUE
C
IF (NT1.EQ.TS(1)) GO TO 101
IF (NT1.EQ.TS(2)) GO TO 102
IF (NT1.EQ.TS(3)) GO TO 103
IF (NT1.EQ.TS(4)) GO TO 104
IF (NT1.EQ.TS(5)) GO TO 105
IF (NT1.EQ.TS(6)) GO TO 106
IF (NT1.EQ.TS(7)) GO TO 107
IF (NT1.EQ.TS(8)) GO TO 108
IF (NT1.EQ.TS(9)) GO TO 109
IF (NT1.EQ.TS(10)) GO TO 110
C

```



```

C      ZVL=(0.0,0.0)
C
C      DO 10 I=1,MR
          A1=Z-ZR(I)
          AA=1.0/A1
          IF(CABS(A1).LT.SIG) GO TO 15
          ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KR(I)
          GO TO 10
15     ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KR(I)*CABS(A1)**2/SIG**2
10 CONTINUE
C
C      DO 20 I=1,NE
          A1=Z-ZE(I)
          AA=1.0/A1
          IF(CABS(A1).LT.SIG) GO TO 25
          ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KE(I)
          GO TO 20
25     ZVL=ZVL+(0.0,1.0)*AA*KE(I)*CABS(A1)**2/SIG**2
20 CONTINUE
C
C      ZVL=CONJG(ZVL)-U
C
C      RETURN
      END

```