

## ◎ 특집 : 연구실소개

## 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 수중회전기 연구실 소개

김 기 섭\*

### 1. 서 론

한국해양연구원(Korea Ocean Research & Development Institute, KORDI)의 본원은 경기도 안산에 위치하고 있으며, 해양시스템안전연구소(Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KRISO)는 대덕연구단지에 위치하며 예전에 '한국선박연구소', '한국해사기술연구소' 등의 명칭을 거쳐 조선 및 해양공학 분야의 전문 연구기관으로 오늘에 이르고 있다.

당 수중회전기 연구실(해양운송시스템 연구본부)은 주로 선박을 비롯한 수상선박 또는 수중운동체 추진용 각종 프로펠러형 추진장치, 물 제트 추진장치 및 복합 추진장치 설계 및 선체와 추진기간의 상호작용 등을 연구하고 있다.

최근에 국가간 해상물동량의 증가로 인하여 선박과 같은 해상운송체가 대형화, 고속화 및 전문화됨에 따라 프로펠러 날개의 단위면적당 부하가 증가하였다. 이러한 부하증가는 필연적으로 프로펠러에 캐비테이션(Cavitation) 발생 증가를 동반하며 공학적으로 많은 문제점을 주고 있다. 이런 현상은 선박용 프로펠러 뿐 아니라 펌프 임펠러(Pump impeller) 및 댐 수력발전용 수차(Turbine) 등 회전유체기계에도 부하가 큰 경우에 발생한다. 당 연구실에서는 캐비테이션 제어(Cavitation control)개발을 통하여 아래에서 보는 바와 같은 관련 피해를 최소화하는 연구를 수행하고 있다. 이러한 캐비테이션 현상은 공기 중에서는 발생치 않고 물과 같은 액체 속에서 프로펠러와 같은 회전 유체 기계가 고속 회전할 때 물체의 표면압력이 증기압 이하로 낮아지는 영역에

서 발생한다.

캐비테이션 종류는 작동조건에 따라서 얇은막 캐비테이션(Sheet cavitation), 구름형 캐비테이션(Cloud cavitation), 방울형 캐비테이션(Bubble cavitation), 날개끝 보오텍스 캐비테이션(Tip vortex cavitation), 허브 보오텍스 캐비테이션(Hub vortex cavitation) 등이 있다. 이런 캐비테이션 종류들은 각각 다른 특성을 갖으며 공학적인 피해는 크게 아래와 같이 분류된다.

첫째, 캐비테이션의 발생량이 많아지면 추진장치의 추력이 감소하여 배의 속도와 추진 효율을 감소시킨다.

둘째, 캐비테이션 일생(발생-->성장-->붕괴-->소멸)중에 붕괴 과정에서 내파력(Impllosion force)이 발생하여 물체표면 침식을 유발한다. 침식현상은 날개의 표면거칠기와 기하학적 본래 형상을 변형을 야기하여 항력증가와 캐비테이션 과다발생 등 제반성능을 저하시키며, 장비의 수명을 단축시킨다.

셋째, 캐비테이션이 발생하여 소멸하는 과정에 물속에서 캐비티의 체적변화와 캐비테이션 종류와 특성에 따른 붕괴력은 수중 물체표면에 변동압력(Pressure fluctuation)을 주어 선체, 펌프 또는 물체의 진동을 유발시킨다. 이러한 현상은 선박, 펌프 및 댐 수차에서 매우 심각한 경우도 많다.

넷째, 세 번째 단점의 발생이유와 유사하게 수중에서 방사소음 발생은 승객에게 불쾌감을 줄 뿐만 아니라 함정의 경우에는 적군으로부터 피탐율을 높이는 심각한 결과를 초래한다.

당 연구실은 대형 연구시설인 캐비테이션 터널(Cavitation Tunnel)과 예인수조(Towing Tank)를 활용하여 실험적 현상학적 연구와 이론 수치해석 기법개발을 통한 체계적인 연구를 수행하고 있다.

\* 정회원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

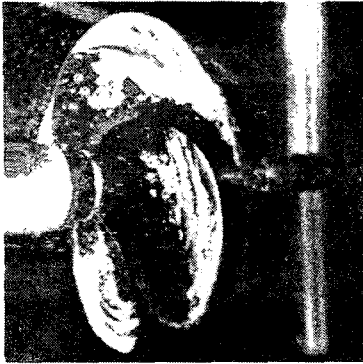


Fig. 1 고속 회전하는 프로펠러에 발생한 캐비테이션 현상

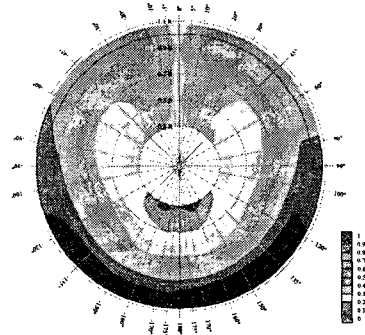


Fig. 2 프로펠러 위치에서 불균일한 유속 분포도

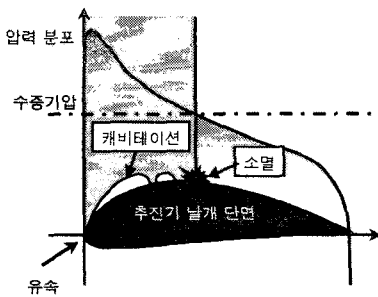


Fig. 3 캐비테이션 발생과 소멸

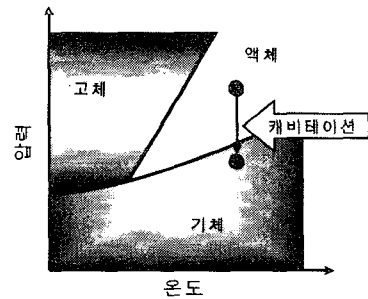


Fig. 4 캐비테이션 발생시 상(phase)의 변화

## 2. 주요 연구분야

본 연구실의 주요 연구분야는 선박 및 수중 운송체의 각종 추진장치, 펌프 및 발전용 수차 개발이다. 연구수행 방법은 캐비테이션 터널과 예인수조를 이용한 실험적 방법과 양력면 및 양력판 이론에 의한 포텐셜 유동해석과 난류 점성유동 수치해석기법을 활용하고 있다. 아래에 서술한 내용 당 연구실에서 수행한 실적, 현재 수행하고 있는 과제내용들 중에 부분적으로 정리한 것이다.

### 2.1 추진기 설계 및 성능해석

프로펠러의 설계는 시리즈 자료를 이용하는 초기설계와 양력면 이론(lifting surface theory)을 사용하는 상세설계로 분류된다. 상세설계 과

정에서는 원하는 프로펠러 하중 분포에 맞추어 피치, 챔버를 결정하며, 정상/비정상 캐비테이션, 축 기진력 및 선체 변동압력 계산을 추정한다. 최근 패널법(panel method)에 대한 연구가 활발하며, 설계과정에 직접 사용하기보다는 선체의 불균일 반류를 고려한 비정상 캐비테이션의 해석 또는 2차원 날개단면의 개발에 주로 활용되고 있다. 아래 그림은 당 연구소에서 채택하고 있는 프로펠러 설계과정의 흐름을 보여준다.

### 2.2 프로펠러 캐비테이션 성능

수중물체와 물과의 상대속도가 증가하면 물체 표면에서의 압력이 감소하게 되며 압력이 물의 증기압 보다 감소하면 캐비테이션이 발생한다. 캐비테이션 관찰시험은 재현된 반류분포에서 대상선의 운항상태에 따른 시험조건을 맞추어 수행된다. 자항시험에서 추정된 운항조건에서의 선속

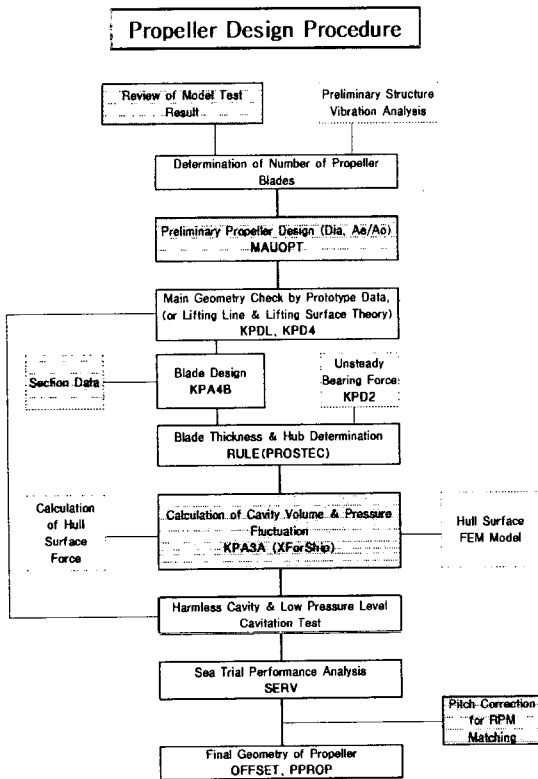


Fig. 5 Propeller design procedures.

과 프로펠러 회전수로부터 전진계수를 계산하고, 프로펠러와 수면 사이의 거리로부터 캐비테이션 수를 계산하여 시험조건을 맞춘다. 캐비테이션 터널에서는 프로펠러 전진속도를 정확히 계측하기 어렵고, 특히 불균일 반류 중에서 작동시 전진속도의 개념이 명확치 않으므로 추력 일치법 (thrust identity)을 사용하여 전진계수를 맞춘다.

선박 프로펠러에 발생하는 캐비테이션을 모형 시험에서 시뮬레이션하기 위해서는 다음의 파라미터를 맞추어 시험한다. 즉 프로펠러의 형상을 축척비에 맞추어 제작하고(geometric similitude), 반류분포중에서 전진계수 ( $J = \frac{VA}{nD}$ ) 즉, 운동학적 상사(kinematic similitude)와 캐비테이션 수 ( $\sigma_{m0.7R} = \frac{p_a(0.7R) - p_v}{0.5\rho n^2 D^2}$ ) 즉, 동력학적 상사(dynamic similitude)를 만족시킨다. 이와 같은

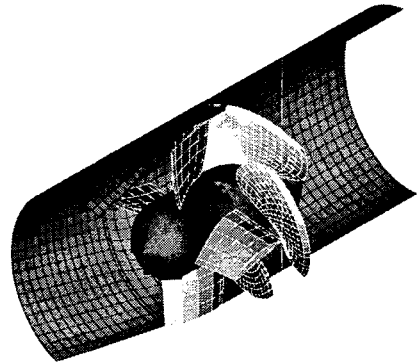


Fig. 6 복합추진장치 수치해석을 위한 표면격자 생성

조건을 만족시키고 캐비테이션의 종류, 발생 면적 및 체적, 변동압력, 날개표면 침식성능, 수중 방사소음 등을 관찰/계측하여 종합적으로 캐비테이션의 특성과 성능을 분석한다.

이와 같은 프로펠러와 수중 유체기계의 캐비테이션 성능시험은 아래에서 보이는 캐비테이션 터널에서 이루어진다. 관련된 시험장비는 주 프로펠러 동력계, 경사류용 동력계, 상반회전 프로펠러 동력계, 6분력계, 레이저 유속계측장치, 5공 피토투브, CCD 카메라, FFT 분석기, 오실로스코프, 스트로보스코프, PTV 등 계측장치를 확보하고 있다.

### 2.3 선박용 추진기

선박 또는 수중운동체의 추진장치는 운송체의 크기, 종류 및 운항특성 등에 따라서 아래와 같이 여러 가지 종류가 있다. 지면의 제한으로 추진기 각각에 대한 특성 설명은 제외하고 몇 종류의 추진장치에 대해서만 사진을 첨부한다.

- 일반적인 프로펠러(Conventional propeller)
- 축경사 프로펠러 (Propeller with inclined shaft)
- 상반회전 프로펠러 (Counter-rotating propeller)
- 가변피치 프로펠러 (Controllable pitch propeller)
- 전류 고정날개 프로펠러 (Preswirl stator propeller)
- 펌프 제트 (Pump jet)
- 공기유입 물제트 추진기 (Ventilating water jet)

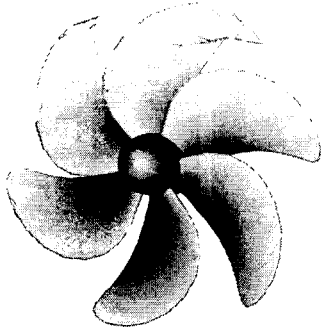


Fig. 7 프로펠러 캐비테이션 생성 수치해석 결과

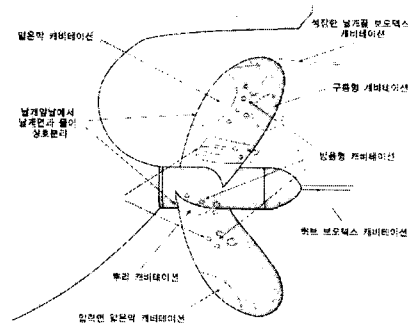


Fig. 8 캐비테이션 종류 설명도



Fig. 9 실험실에서 고속함정용 실선 프로펠러에 발생한 캐비테이션 촬영한 사진

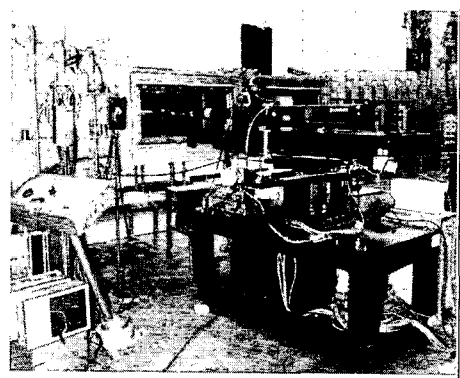


Fig. 10 KRISO 캐비테이션 터널 관측부와 LDV 장치

|            | 제1 관측부         | 제2 관측부      |
|------------|----------------|-------------|
| 터널 전체크기    | 길이 12m, 높이 12m |             |
| 관측부 단면     | 0.6m×0.6m      | 1.45m×0.7m  |
| 관측부 길이     | 2.6m           | 6.0m        |
| 최고 유속      | 12m/sec        | 4.3m/sec    |
| 터널 내부압력 조절 | 0.1 ~2.0 기압    | 0.1 ~2.0 기압 |

- 덕트 프로펠러(Duct propeller)
- 선회식 전동추진기(Azipod or Mermaid type)

### 2.4 날개단면 개발

날개단면 개발은 프로펠러, 타 및 스트럿 등 선체 부가물에 발생하는 캐비테이션의 성능을 개선책으로 활용되는 기법이다. 날개단면의 코오드(Chord)방향으로 두께분포와 캠버(Camber)분포를 변화하면서 최적화하며 난류 점성유동 수치해석과 실험적 방법으로 성능을 검증한다.

### 2.5 Waterjet 추진시스템

앞서 서술한 프로펠러형 추진장치가 선체 외부에 돌출 되어있는 반면에 물제트 추진장치는 선체내부에 장착이 된다. 따라서 비교적 얇은 물에서 운항하는 선박에도 사용이 가능하고 여과과 같이 그물이 설치되어 있는 상황에서도 추진기가 그물에 걸리지 않고 운항이 가능하다.

물제트 추진장치는 고속으로 운항할수록 추진 효율이 증가할 뿐 아니라 임펠러가 유도관 내부에서 회전하므로 고속선에서 사용되는 일반 프로펠러에서 문제가 되는 캐비테이션 제어 관점에서 매우 유리한 추진장치이다. 따라서 선체의 진동과 소음을 감소할 수 있어서 여객선, 고속함정, 어선, 소형 고속선(high speed craft), 수륙양용장갑차 등에 매우 다양하게 활용되고 있다. 최근에는 대형 선박 및 초고속선의 추진장치로 활용

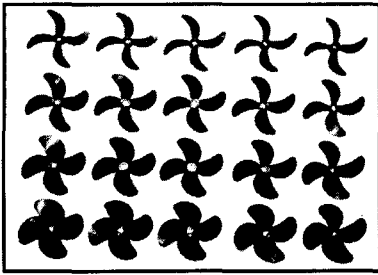


Fig. 11 일반적인 프로펠러형의 씨리즈 프로펠러

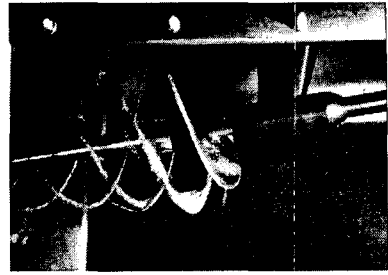


Fig. 12 축 경사 프로펠러 캐비테이션 성능시험 모습

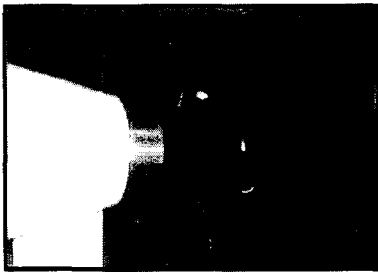


Fig. 13 상반회전 프로펠러 모형시험 모습

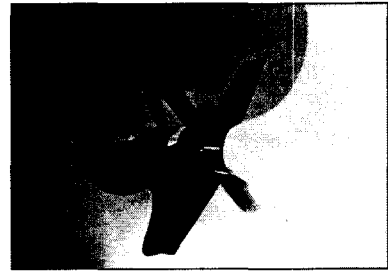


Fig. 14 선미에 장착된 전류고정 날개 추진기

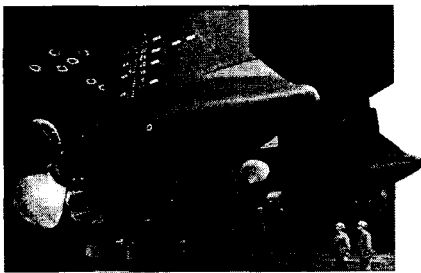


Fig. 15 선미에 설치된 전기선회식 추진장치

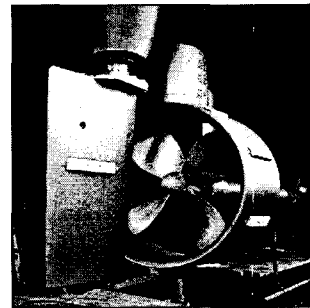


Fig. 16 실선에 장착된 덕트 프로펠러

이 급속히 증가하고 있다.

물제트 추진장치의 구성은 그림에서 보는 바와 같이 흡입구(배 바닥면에 물을 빨아들이는 부분), 유도관(흡입구에서 펌프위치까지 이르는 관로), 펌프, 노즐, 조향장치 그리고 이를 제어하는 각종 유압 제어장치로 구성된다

류형 펌프에 대한 성능시험을 한다. 이런 종류의 펌프는 냉각수 순환, 용수공급, 물제트 추진장치 등에 활용된다. 성능시험 검증항목은 양정높이, 유량, 임펠러 토오크, 효율 및 날개의 캐비테이션 성능 등이다.

### 2.6 펌프 설계 및 성능검증 시험

여러 형태의 펌프가 있으나 주로 축류형과 사

### 3. 맺음말

본 고에서는 한국해양연구원 해양시스템안전

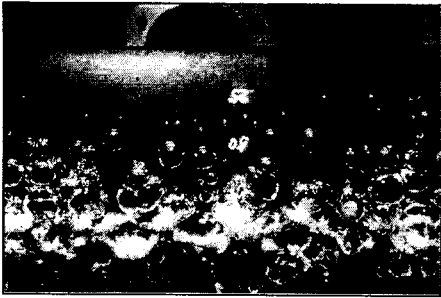


Fig.17 2차원 날개단면의 흡입면에 발생한 캐비테이션

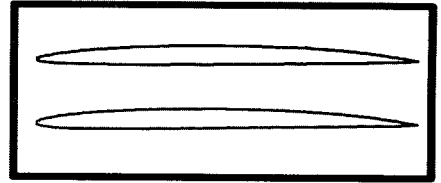


Fig. 18 캐비테이션 성능이 우수한 날개단면/2-----

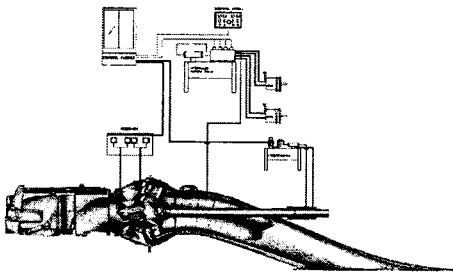


Fig. 19 물 제트 추진장치의 펌프, 축계, 유도관, 조향, 제어장치 개념도

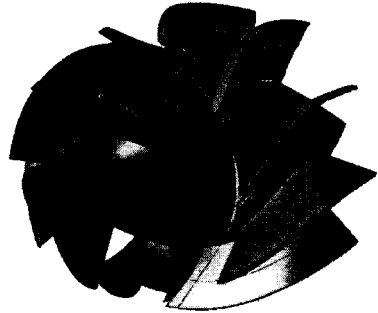


Fig. 20 Waterjet 추진용 사류형 펌프의 임펠러와 스테이터

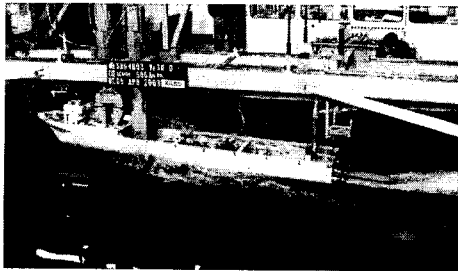


Fig. 21 Waterjet 추진장치가 장착된 모형선 자항추진 성능시험

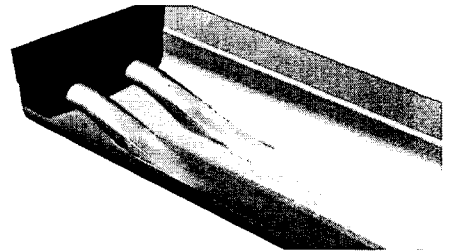


Fig. 22 선미에 설치된 waterjet 유도관 모습

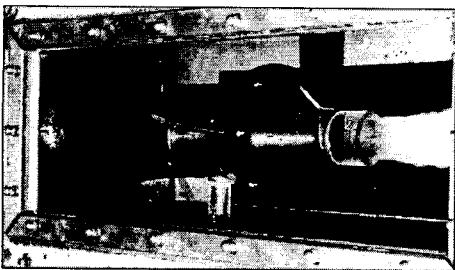


Fig. 23 축류형 펌프의 효율 및 캐비테이션 성능시험



Fig. 24 냉각장치용 축류펌프의 효율 및 캐비테이션 성능시험

연구소 수중회전기 연구실에서 연구하여 왔고 현재 개발 중에 내용을 중심으로 소개하였다. 제한된 지면에 연구내용 별로 구체적 기술은 한계가

있어 개괄적인 소개로 끝아야 했다. 연구과제의 형태는 국내 조선소 및 산업체, 해군, 해양경찰청, 국방과학연구소 및 정부과제로 구성된다. 계속적으로 기술개발 연구를 통하여 해양안전, 해양환경, 해양에너지, 해양방위, 해양장비 및 미래산업 등의 관련 기술개발에 역진할 것이다.