

# 공기윤활기법을 활용한 소형 요트의 항력 감소 시스템

정재호  
 연암공과대학교 기계공학과  
 e-mail:sscjh@yc.ac.kr

## Drag reduction system for small yachts using air lubrication

Jaeho Chung  
 Dept. of Mechanical Engineering, Yonam Institute of Technology

### 요약

본 연구에서는 물체가 움직이고 유체가 정지해 있는 자유 표면이 존재하는 환경에서의 공기윤활 또는 환기 초공동 현상에 대해 실험 연구를 진행하였다. 운동체의 형상은 소형 요트의 바닥 면을 가정한 2차원 평판이고, 운동체의 하부에는 일자형 캐비테이터가 부착되어 있으며, 캐비테이터의 뒤쪽으로 압축공기가 분출된다. 본 연구의 결과로는 2차원 평판형 운동체의 공기윤활 현상 또는 환기 초공동 현상을 관측하고 관련 파라미터 연구를 통해 소모전력을 사용하여 항력을 각각의 경우의 항력을 알아보았으며, 공기윤활 또는 환기 초공동으로 인해 감소하는 전력 소모량이 최대 40% 감소하는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 레저용 또는 이동형 소형 요트의 항력 감소 또는 에너지 효율 향상과 관련된 파라미터 연구에 도움이 될 것으로 본다. 또한, 제조사 측에서는 본 연구 결과를 통하여 감소하는 항력 또는 에너지 효율을 예측함으로써, 시행착오를 방지하고 개발 시간 및 비용을 절감할 수 있을 것으로 예측한다.

### 1. 서론

본 연구는 실험 연구로, 열린 환경에서 2차원 평판형 운동체 주변에서 발생하는 공기윤활현상에 관한 것이다. 본 연구에서의 시스템은 그림 1.과 같이 소형 요트의 바닥 면에 설치하여 사용하는 것을 가정하여 제작하고 실험을 진행하였다.



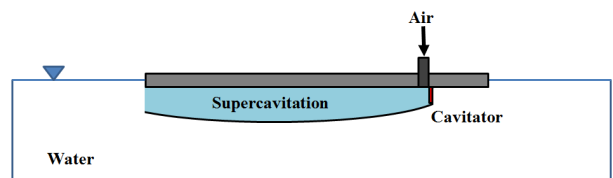
[그림 1] 레저 또는 이동용 소형 요트

물체의 모양은 2차원 평판형이고, 일자 형상의 캐비테이터가 물체의 아랫부분에 달려 있으며, 캐비테이터의 0.8cm 뒤쪽에서 압축 공기가 나온다. 운동체의 속력과 압축공기의 유량에 따른 공기윤활현상을 관측하였으며, 각 경우에 대하여 줄

어드는 항력을 전력소모와 관련하여 측정하였다. 공기윤활 또는 환기 초공동이 형성되었을 경우의 물체의 전력소모량과 공기윤활 또는 환기 초공동이 없는 경우의 전력소모량을 비교하였을 때, 전력소모가 최대 40%가량 감소하는 것을 확인하였다.

### 2. 이론 및 실험 환경

초공동 현상은 공기 방울이 수중운동체를 완전히 뒤덮게 되는 현상을 뜻하며, 초공동 현상으로 인해 수중운동체가 받는 저항을 대폭 감소시킬 수 있다. 그림 2.는 2차원 평판형 운동체에서의 초공동 현상을 보여주고 있다.

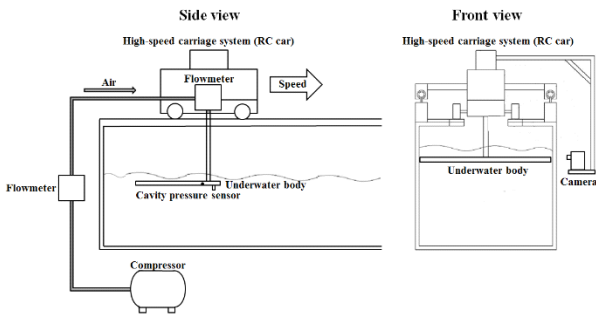


[그림 2] 2차원 평판형 물체의 초공동 현상

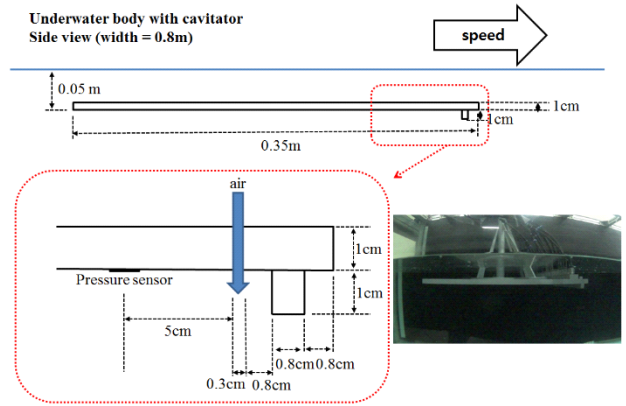
초공동 현상은 일반적으로 캐비테이션 수 (Cavitation No.,  $\sigma_c = 2(p - p_v) / \rho V^2$  가 0.1보다 작을 때 일어난다[1].  $p$ 는 기준압력이며,  $p_v$ 는 증기압력,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $V$ 는 속도를

나타낸다. 초공동 현상을 구현하기 위해서는 위 식에서 볼 수 있듯이, 세 가지 방법이 있다. 첫째는 속도를 높이는 방법이며, 둘째는 기준압력을 낮추는 방법이고, 셋째는 증기압력을 높이는 방법이다[2]. 본 연구에서는 환기(ventilation)장치를 사용하여 증기압력을 높이는 방법을 사용하였다.

본 연구에서 사용된 실험 수조는 길이 19.2m, 폭 1m, 높이 1m로서, 주행하는 2차원 평판형 운동체에서 발생하는 공기운할 또는 초공동 현상을 관측하고, 이러한 현상들과 관련된 여러 파라미터 들을 측정하기 위한 목적으로 특수제작되었다. 최대 속도 10m/s의 예인장치와 환기장치를 사용하여 공기운할 또는 환기 초공동 현상을 재현하였다. 이동하는 물체에서의 공기운할 또는 환기 초공동 형성 전 과정을 관측하기 위해 카메라를 예인장치에 부착하였으며, 압력센서와 유량센서를 사용하여 주요 파라미터들을 측정하였다. 예인장치의 속도, 환기장치의 환기 유량을 체계적으로 변화시킴으로써 다양한 구간의 프루드수(Froude No.), 공기 유입계수(Air entrainment coefficient) 및 캐비테이션 수(Cavitation No.)에서의 결과를 측정하고 비교하였다. 또한 공기운할 또는 환기 초공동으로 인해 감소하는 항력을 측정하기 위해 전력 소비량을 사용하는 방법을 사용하였으며[2], 이를 위해 전압 및 전류 센서가 사용되었다. 그림 3은 실험 수조의 개략도를 보여주고 있으며, 그림 4는 2차원 평판형 물체의 개략도를 보여주고 있다. 그림 4의 평판형 물체의 상판에는 지름 6mm의 32개의 관을 통해 공기가 유입되며, 유입된 공기를 2차원 평판 바닥 면에 고르게 분산시키기 위해 매쉬형 거름망을 거쳐 평판형 운동체 아래의 긴 일자형 슬롯으로 배출되도록 설계하였다.



[그림 3] 실험 수조 (개략도)



[그림 4] 2차원 평판형 물체

### 3. 연구 결과

본 실험 연구에서 2차원 평판형 운동체의 속도는 1m/s, 2m/s, 3m/s, 4m/s로 나누었으며, 환기 장치를 통해 분사되는 공기량은 0L/min~180L/min 사이의 구간을 20L/min으로 나누어 실험을 진행하였다.

본 연구에서 사용된 무차원 계수는 프루드수(Froude No., Fr), 캐비테이션 수(Cavitation No.,  $\sigma_c$ ), 레이놀즈수(Reynolds No., Re) 및 공기유입계수(Air entrainment coefficient,  $C_q$ )로 아래와 같다.

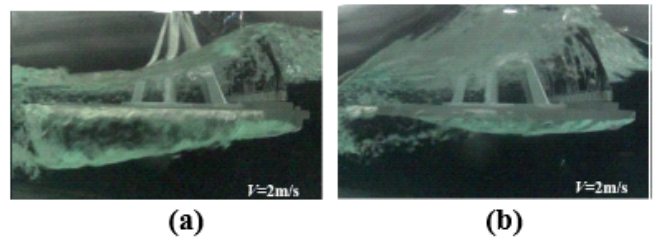
$$Fr = V/\sqrt{gd_c} \tag{1}$$

$$\sigma_c = 2(p_\infty - p_c)/\rho V^2 \tag{2}$$

$$C_q = Q/V(bd_c) \tag{3}$$

$$Re = \rho Vd_c/\mu \tag{4}$$

$V$ 는 운동체의 속도,  $g$ 는 중력가속도,  $d_c$ 는 캐비테이터의 높이,  $b$ 는 캐비테이터의 너비,  $p_\infty$ 는 기준압력(reference pressure),  $p_c$ 는 증기압력(vapor pressure),  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $\mu$ 는 동점성계수,  $Q$ 는 압축공기유량을 나타낸다.

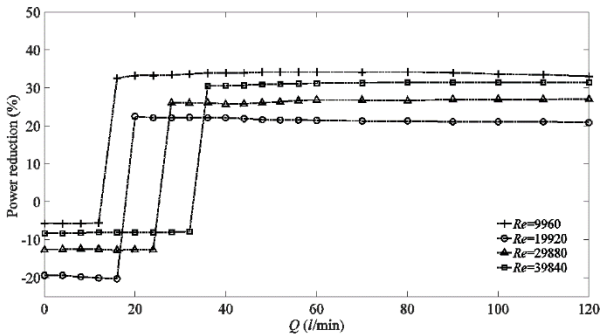


[그림 5] Q=80L/min, V=2m/s의 경우. (a) 캐비테이터가 있는 경우, (b) 캐비테이터가 없는 경우

그림 5에서 (a)는 캐비테이터가 있는 경우, 공기유량 80L/min에서의 V=2m/s일 때의 현상을 보여주고 있으며, (b)는 캐비테이터가 없는 경우 (a)와 같은 조건에서의 현상을 보여주고 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 캐비테이터가 있는 경우에 환기 초공동 현상이 발생하는 것을 시각적으로 확인

할 수 있었다.

그림 6.은 캐비테이터가 있는 경우, 캐비테이터가 없는 경우에 비해, 유량에 따른 전력 소모량의 감소를 보여주고 있다.



[그림 6] 캐비테이터가 있는 경우, 소비전력소모량

그림 6.에서 볼 수 있듯이, 캐비테이터가 있는 경우, 공기유량 20-40L/min 진후에서 전력 소모량이 약 20-40% 가량 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 이때부터 환기 초공동 현상 또는 공기유회현상이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

### 3. 결론

열린 환경에서 2차원 평판형 운동체 주변에 발생하는 공기유회 또는 환기 초공동에 대해 실험적으로 분석하였다. 캐비테이터의 유무, 운동체의 속도, 압축공기의 유량에 따른 현상을 관측하였다. 또한 공기유회 또는 환기 초공동으로 인해 줄어드는 항력을 알아보기 위해 전체 예인 시스템의 소비전력을 측정하는 방법을 사용하였다. 공기유회 또는 환기 초공동이 발생하기 전에는 캐비테이터가 있는 경우, 캐비테이터가 없는 경우와 비교하여 약 10-20% 정도 더 많은 소비전력이 소모되나, 공기유회 또는 환기 초공동이 발생한 후에는 캐비테이터가 없는 경우와 비교하여 약 20-40%의 소비전력이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 공기유회 또는 환기 초공동과 관련한 파라미터 연구 및 저항 감소 특성 연구의 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 본다.

#### 참고문헌

- [1] Franc, J.P., Michel, J.M., *Fundamentals of Cavitation*, Kluwer Academic Publishers, 2010년.
- [2] Chung, J., Cho, Y., "Ventilated supercavitation around a moving body in a still fluid: observation and drag measurement", *Journal of Fluid Mechanics*, 제 854권, pp. 367-419, 11월, 2018년.