

## 2차원 썰기 주변의 자연 및 분사 공동에 대한 비정상 유동해석 연구

김진하<sup>1</sup>, 최요한<sup>2\*</sup>, 김종암<sup>1,2,3</sup>, 정소원<sup>4</sup>, 안병권<sup>4</sup>

서울대학교 계산과학 협동과정<sup>1</sup>, 서울대학교 기계항공공학부<sup>2</sup>,  
서울대학교 항공우주기술연구소<sup>3</sup>, 충남대학교 선박해양공학과<sup>4</sup>

### Numerical Analysis of Unsteady Cavitating Flows around a 2-D Wedge for Natural and Ventilated Cavitation

Jinha Kim<sup>1</sup>, Yohan Choe<sup>2\*</sup>, Chongam Kim<sup>1,2,3</sup>, So-Won Jeong<sup>4</sup>, Byoung-Kwon Ahn<sup>4</sup>,

**Key Words** : 다상유동(Multi-phase flow), 자연 공동(Natural Cavitation), 분사 공동(Ventilated Cavitation), 균질 혼합 모델(Homogeneous Mixture Model), 2차원 썰기(Two-dimensional Wedge)

#### 서론

공동 현상(cavitation)이란 유동장 내의 국부적인 영역에서 빠른 속도로 인한 압력의 급격한 강하로 증기압보다 낮아지면서 기화가 되는 현상을 말한다. 기화된 기포는 다시 압력이 상승하면서 기포의 붕괴로 이어지는데, 이러한 기포의 생성과 소멸 과정을 거치면서 기계 장비 표면의 침식, 진동, 소음 등 많은 문제점이 발생한다. 이처럼 공동 현상은 피하거나 억제되어야 할 현상으로 취급 되지만, 종종 이를 이용하거나 제어함으로써 운동체의 성능을 향상시키기도 한다. 특히 최근에 자연적 또는 인공적으로 공동을 생성시켜 수중 운동체 전체를 감싸 표면 마찰력을 비약적으로 감소시키고 고속 주행을 가능하게 하는 초공동(super-cavitation) 수중운동체에 대한 관심이 높아지고 있으며 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>1,2)</sup>.

초공동 수중운동체에 관한 기술 중에서 중요하게 여겨지는 것 중 하나가 운동체를 제어하는 기술이다. 운동체의 방향을 제어하고 안정된 주행을 가능하게 하기 위해 제어판을 사용하는데 일반적으로 운동체 뒤쪽에 상하좌우로 위치한 썰기 형상을 갖는 제어판을 사용한다. 공동이 안정화 되어 운동체를 감싸도 이 제어판은 운동체 제어를 위해 일부분은 공동 속에 있으며, 필연적으로 물과 접촉하는 상태에서 작동하게 된다. 따라서 제어판 주위 유동 현상을 이해하고 물과 접촉하는 부분으로 생길 수 있는 항력 증가를 억제시키는 것이 중요하다.

본 연구는 초공동 수중운동체의 제어판 주위 유동에 대한 기초연구의 일환으로 수행되었으며 2차원 썰기 형상 후류의 자연 공동 및 분사 공동의 비정상 유동을 해석하였다. 공동수를 바꿔가면서 여러 유동조건에 따라 후류에서 발생하는 자연 및 분사 공동 유동의 특성을 파악하고자 하였다. 해석한 결과는 유동의 패턴, 공동의 길이, 압력 등을 기준으로 충남대학교

선박해양공학과 수동에서 수행된 실험 결과와 비교하였다. 또한 공동 현상으로 인한 썰기의 항력 계수의 변화에 대해서 분석하였다. 특히 추가적인 계산을 통해 공동이 발생하지 않는 조건과 비교하여 자연 혹은 분사 공동이 항력 계수에 미치는 영향에 대해서 분석하였다.

#### 수치 해석 결과 및 고찰

##### 2차원 썰기 형상 및 계산 격자

2차원 썰기 형상 후류에서 발생하는 공동 유동 해석을 수행하였고, 해석 결과를 실험 결과와 비교하였다. 실험은 충남대학교 선박해양공학과에서 수동에서 수행되었으며, 폭 100mm의 시험구간을 가지고 있다. 실험에 사용된 썰기는 20도의 썰기각과 20mm의 폭, 56.72mm의 길이를 가지고 있다.

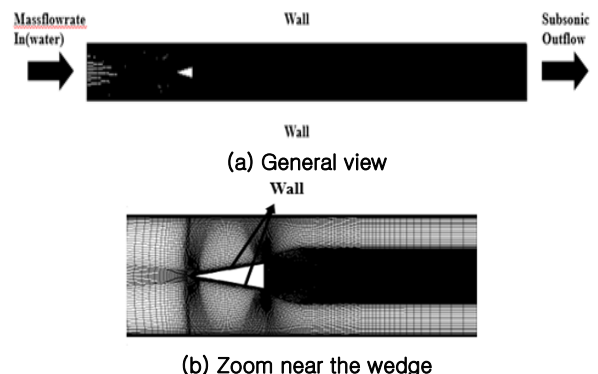


Fig. 1 Computational domain and boundary specification

Fig 1은 수동 터널을 모사한 계산 영역을 나타낸다. 터널 앞 쪽은 액상이 일정한 속도로 들어오는

질량유량 유입 경계조건을 사용하였으며 터널 뒤쪽은 아음속 유출조건, 터널 위, 아래와 뺨기 형상 주변에는 벽면의 경계조건을 사용하였다.

**뺨기 형상 후류 공동 유동 특성**

공동수에 따른 뺨기 후류에 생성된 자연 및 분사 공동을 실험과 수치 해석 결과를 비교하여 Fig 2에 나타내었다. 실험은 초고속 카메라로 촬영한 것이고 수치 해석은 밀도장을 나타낸 것이다.

자연공동의 경우, 공동수가 0.56 이하인 경우에 뺨기 후류에 닫힌 공동 와류가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이 닫힌 공동은 뺨기에서 떨어지지 않는 모습을 보이며 공동수가 커짐에 따라 길이가 줄어든다. 반면 어느 특정 공동수 이상이 되면 닫힌 공동이 점점 짧아지다가 공동이 Fig. 4와 같이 Karman 와열 (Karmna vortex street) 형태로 주기적으로 떨어져 나가는 비정상 유동의 특성을 보이는 것을 알 수 있다.

분사공동의 경우, 분사량이 많을수록 공동의 압력이 높게 형성되기 때문에 공동수가 낮아진다. 공동수가 0.60 이하인 경우에는 분사량이 많아 분사 가스가 주위 유동과 상호 간섭 없이 뒤쪽으로 나아가며 완전한 공동으로 형성된다. 분사량을 점점 줄여 공동수가 커지면 자연 공동과 비슷하게 뺨기 후류에 Karman 와열 형태로 주기적으로 떨어져 나가는 비정상 유동의 특성을 보인다. 자연 공동에서 뺨기의 면 후류 영역에서는 기화된 와열이 주위 액체와 혼합이 되어 멀리 전달이 되지 않는 반면, 분사 공동은 비음속 가스에 의한 공동이기 때문에 와열이 상대적으로 멀리 전달이 되는 것을 확인할 수 있다.

**결론**

본 연구에서는 Navier-Stokes 방정식에 균질 혼합모델과 예조건화 기법을 적용하여 2차원 뺨기 형상 후류의 자연 공동 및 분사 공동의 비정상 유동을 해석하였다. 상변화 모사를 위해 Merkle의 공동 모델을 사용하였다.

자연과 분사 공동 모두 특정 공동수 이하에서는 비정상적 유동의 특성이 약한 반면, 특정 공동수 이상의 영역에서는 뺨기 후류에 공동이 Karman 와열 형태로 주기적으로 떨어져 나가는 비정상 유동의 특성을 보였다. 해석 결과는 실험과 비교하였으며 유동의 패턴이나 공동의 길이 등이 일치함을 확인하였다.

**후기**

본 논문은 서울대학교 항공우주신기술 연구소, 민군 기술협력사업 (Civil-Military Technology Cooperation Program), 우주핵심기술개발사업 (NRF-2014M1A3A3A02034856), 그리고 KISTI 슈퍼컴퓨팅 센터 (KSC-2015-C3-052) 의 지원을 받아 작성되었습니다.

**참고문헌**

- 1) Nesteruk, I., "Drag Reduction for High-Speed Underwater Vehicles," in 7th International Symposium on Cavitation, No.86, Ann Arbor, Michigan, 2009.
- 2) Vanek, B., Bokor, J., Balas, G.J. and Arndt R.E.A., "Longitudinal Motion Control of a High-Speed Supercavitation Vehicle," Journal of Vibration and Control, Vol.13, No.2, 2007, pp.159-184.
- 3) Weiss, J.M. and Smith, W.A., "Preconditioning applied to variable and constant density flows," AIAA Journal, Vol.33, No.11, 1995, pp.2050-2057
- 4) Kim, H., Kim, H., and Kim, C., "Methods for Accurate Computations of Homogeneous Multi-phase Real Fluid Flows at All Speeds: Extension of RoeM and AUSMPW+ Schemes," submitted to Computers & Fluids, 2016.
- 5) Choe, Y., Kim, H., Kim, C., Park, S., Lee, H., Choi, H., Rhee, S. H., Kim, J., Anh, B. K., Kim, H. T., "Computations of Cavity Dynamics behind a 2-D Wedge by Unsteady Compressible Two-phase Flow Solver," 9<sup>th</sup> International Symposium on Cavitation, 2015.

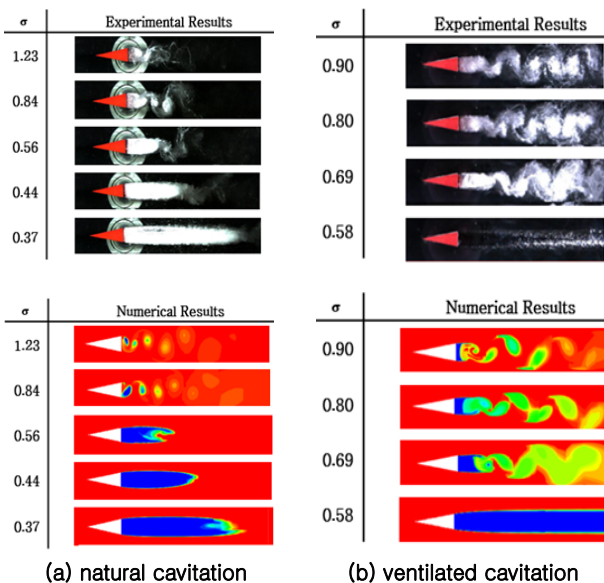


Fig 2. Comparison of cavitation between the experimental and numerical results