

캐비테이션 붕괴거동에 관한 PIV 유동계측

† 김옥석* · 한민수** · 김성종** · 이경우***

* 목포해양대학교 조선해양공학과 강사, ** 목포해양대학교 기관시스템공학부, *** 목포해양대학교 조선해양공학과

PIV Measurement on Collapse Behavior of Cavitation

† Ok-Sok Gim* · Min-Su Han**, Seong-Jong Kim**, Gyoung-Woo Lee***

* Docent, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime Uni, Mokpo, 530-729, Korea

** Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

*** Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime Uni, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 캐비테이션 현상은 고 유속 환경에서 발생(inception), 성장(growth), 붕괴(collapse) 및 소멸(disappearance) 과정이 반복적으로 일어나며 그 과정에서 기포붕괴에 따른 큰 충격압력을 방지하려는 분야와 이를 능동적으로 산업분야에 적용하려는 분야로 크게 대별된다. 본 연구에서는 캐비테이션의 붕괴거동을 수중 초음파 진동자에서 미세기포를 발생시켜 PIV기법을 이용하여 유동장을 계측하였다. 초음파 진동자는 직경 16 mm이며, 진동주파수는 20 kHz, 진폭은 5 μ m, 10 μ m, 30 μ m 및 50 μ m를 각각 적용하였다. 유동구조, 난류강도, 레이놀즈 응력에 대한 통계적 유동정보를 계측한 결과 충격압력의 원인으로 알려진 캐비티 붕괴로 인해 유동특성을 확인하였다.

핵심용어 : 공동현상, 캐비티 붕괴, 초음파 진동자, 유동특성, PIV

1. 서 론

캐비테이션 현상에 의한 문제를 해결하기 위해 터보기계, 고속혼합기, 유동제어기, 프로펠러, 고속 핵융합기 및 초음속 장비의 설계와 운영적 측면에서 다양한 연구가 이루어지고 있다(Ryu et al., 2011; Escaler et al., 2003). Ahn and Kwon(2011)은 침식율의 사전 추정을 통한 초기설계분야에서 Kasem et al.(2008)은 캐비테이션의 물리적 메커니즘을 규명하였으며 Kim et al.(2012)은 캐비테이션 원리를 응용하여 표면개질에 관한 연구를 진행하였다.

프로펠러에서 발생하는 캐비테이션 현상은 단시간에 발생, 성장, 붕괴 및 소멸이 이루어져 육안 인식이 불가능하므로 PIV기법을 적용한 비정상 거동을 포착하여 캐비티 붕괴로 인한 침식가능성 파악에 활용되고 있다(Paik et al., 2007). 또한 Lee et al.(2011)은 프로펠러 캐비테이션에 대한 소음특성을 고찰한 바 있다.

본 연구는 캐비티 붕괴에 따른 충격압력의 이해를 높이고자 ASTM G-32 표준 초음파 캐비테이션 발생장치에서 PIV 기법을 적용하여 캐비티 붕괴시 유동특성을 가시화하였다.

2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 ASTM G-32 표준 캐비테이션 실험을 위한 압전효과를 이용한 장치 모식도이며, 초음파의 주파수는 20±0.5 kHz이고 진폭은 5 μ m, 10 μ m, 30 μ m 및 50 μ m로 각각 적용하였다. 압전소자에 의한 진동 발생은 원추 혼에 전기적인 교류를 가함으로써 축방향으로 진동을 일으키는 현상을 이용하였다.

Table 1은 실험에 적용한 PIV시스템과 실험조건으로 유체온도는 12℃ 전후의 청수와 유동추적을 위해 PVC입자는 비중이 1.02로 일정한 크기를 선별하여 사용하였다.



Fig. 1 Photo of cavitation apparatus.

† 교신저자 : 정 회 원, domingo@mmu.ac.kr 010-2614-3001

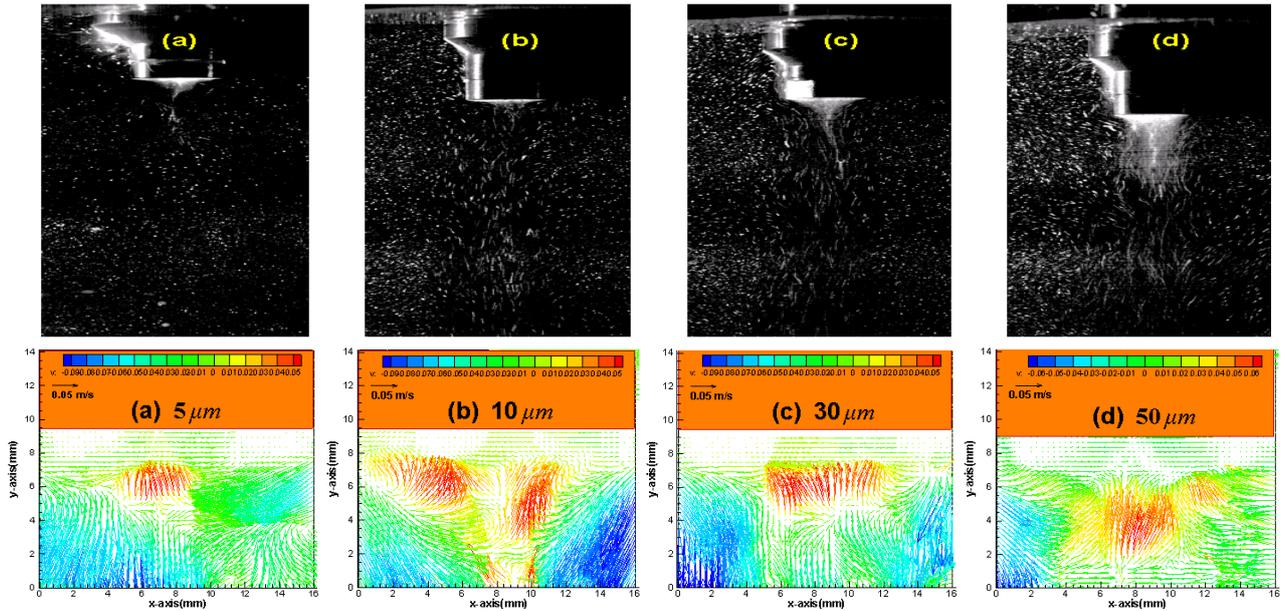


Fig. 2 Flow visualization & velocity field (a) $5\mu\text{m}$, (b) $10\mu\text{m}$, (c) $30\mu\text{m}$, (d) $50\mu\text{m}$

Table 1 Specification of optical system & experimental conditions

| Item | Specification |
|-----------------------------|---|
| Light source | Lasers (GL532H-500 mW) |
| Fluid | Fresh water ($12\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$) |
| Time resolution | 125 FPS |
| Particle | PVC($\rho : 1.02, \phi : 150\ \mu\text{m}$) |
| Dimension | Diameter : 17 mm |
| Algorithm & Date processing | 2-frame grey-level cross correlation CACTUS v.3.1 |

3. 결론

초음파 진동자에서 생성되는 캐비티 유동을 PIV기법을 이용하여 추적한 결과 다음과 같은 현상을 관측할 수 있었다.

공동기포의 파괴는 생성되는 유동의 약 2배 이상의 속도로 압력이 낮은 곳으로 가파른 유동변화를 나타냈다. 이는 반복적인 압축과 팽창에 의해 기포가 폭발하면서 주변보다 압력이 낮아져 높은 속도구배를 나타내는 원인으로 판단된다.

고해상도의 카메라를 이용하여 생성에서 소멸과정에 따른 재료의 손상거동을 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 캐비테이션 발생 임계값을 피하기 위한 유속과 압력 관계를 통해 프로펠러의 치수와 회전수에 대한 최적화 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] Ahn, S. J. and Kwon, O. J.(2012), "Cavitation Flow Simulation for a 2-D Hydrofoil using a Homogeneous Mixture Model on Unstructured Meshes", J. Comput. Fluids Eng, Vol. 17, No. 1, pp. 94-100.

[2] Escaler, X., Farhat, M., Avellan, F. and Egusquiaz, E. (2003), "Cavitation Erosion Tests on a 2D Hydrofoil using Surface-mounted Obstacles", Wear, Vol. 254, pp. 441-449.

[3] Kasem, A. and Ahmed, S.M.(2008), "Cavitation Erosion Mechanism Based on Analysis of Erosion Particles", Journal of Tribology, Vol. 130, No. 3, pp. 1-6.

[4] Kim, S. J., Han, M. S. and Kim, M. S.(2012), "Electrochemical Characteristics by Water Cavitation Pitting of Cu Alloy", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 8, pp. 1083-1090.

[5] Lee, P. H., Ahn, B. K., Lee, C. S. and Lee, J. H.(2011), "An Experimental Study on Noise Characteristics of Propeller Cavitation Inception", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 48, No. 1, pp. 1-7.

[6] Paik, B. G., Kim, J., Park, Y. H., Kim, K. S. and Yu, K. K.(2007), "Analysis of Wake behind a Rotating Propeller using PIV Technique in a Cavitation Tunnel", Journal of Ocean Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 594-604.

[7] Ryu, S. H., Kim, D. H., Kim, B. S. and Park, T. H.(2011), "Optical Observation of Cavitation Phenomena in Diesel Fuel Injection Pumps", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 4, pp. 460-467.