

Stereoscopic PIV 속도장 측정기법을 이용한 원통내의 회전 유동장 측정

최종하[†] · 양근수^{*} · Gowda, B. H. L.^{**} · 손창현^{***}

Visualization of rotational flow using SPIV in cylindrical tank

Jong Ha Choi[†], Kun Su Yang^{*}, Gowda, B. H. L.^{**}, Chang Hyun Sohn^{**}

Abstract

Vortexing might occur during draining from tanks which reduces the rate of outflow. This phenomenon has practical relevance in the fuel feed system in space vehicles and rockets. Due to environmental disturbances rotational motion can be generated in the liquid-propellant tank, which in turn can affect the rate of outflow to the engines. The phenomenon is initialized by rotating the fluid in the experimental tank. The dip quickly develops into a vortex with an air core, which extends to the bottom port, reducing the effective cross-sectional area of the drain outlet and consequently the flow rate. Flow characteristics are investigated using SPIV(Stereoscopic Particle Image Velocimetry) method.

Key Words : Flow Visualization(유동가시화), PIV(입자영상유속계), Suppressor

1. 서 론

바닥 한가운데 구멍이 있는 원통 용기에서 물이 새어 나올 경우 소용돌이가 형성되고 공기 기둥이 바닥의 구멍까지 연결된다.¹⁾⁻⁴⁾ 소용돌이에 의해 형성된 공기 기둥은 바닥의 배출구와 연결되어 배출구 단면의 일부를 차지하게 된다. 원통내의 물을 회전시켜 주면 소용돌이가 생성되고 결국 배출율에 영향을 미친다. 이 현상은 우주

비행선이나 로켓 등에서 연료 주입 시스템과 밀접한 관계가 있다. 환경적인 요인에 의해 연료 탱크 내부에 회전하는 유동이 발생하게 되면 엔진의 출력에 영향을 미칠 수 있다. 그래서 회전하는 유동을 억제하기 위한 다양한 연구들이 진행되었다. 소용돌이를 억제하기 위해 Abramson¹⁾는 배플(Baffle)을 사용하였다. Ramamurti와 Tharakan²⁾은 용기에서 초기 회전하는 유동에서 소용돌이를 방지하기 위해 단이진 용기를 사용하였다. Gowda⁵⁾는 정사각형과 직사각형 단면의 용기를 사용하여 소용돌이가 억제되는 것을 확인하였다. 그리고 소용돌이를 막기 위해서 접시모양의 그물망을 사용하였다.⁶⁾

본 실험에서는 Stereoscopic PIV 속도장 측정기법을 이용하여 원통 내부에서 회전하는 유체가

†경북대학교 대학원 기계공학과
E-mail : bellsummer@nate.com

* 경북대학교 대학원 기계공학과

** 경북대학교 기계공학과

*** 경북대학교 기계공학과

배수되며 발생하는 유동을 삼차원적으로 가시화 하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1는 실험에 사용된 장치의 개략도이다. 가시화를 위해 투명한 아크릴로 제작되었고 원통은 내경이 94mm이고 높이가 460mm이며 배수를 위해 바닥 중심에 6mm 구멍이 뚫려있다. 영상획득 시 빛의 왜곡이나 산란현상을 방지하기 위해 원형의 용기 외곽에는 사각형의 덕트를 만들어 주고 그 안에 물을 채워서 실험하였다. 용기 내 물을 회전시키기 위해 직경이 125mm인 막대로 120rpm으로 일정하게 제어준다. 용기 내 물은 300mm 높이로 동일한 조건으로 실험하였고, 바닥의 구멍은 테이프로 막은 뒤 내부의 물에 회전이 가해지면 순간적으로 제거하여 배수가 되도록 하였다. 실험에 사용된 배인 타입 서프레서(Vane type suppressor)는 용기 내 바닥에 고정되어지고 30mm 배인이 4개인 것으로만 실험하였다. 용기 내 물은 배수가 시작된 후 3초일 때 각각 배수와 서프레서의 유무의 경우를 실험하여 비교하였다.

본 실험에서는 획득한 영상으로부터 속도벡터를 구하기 위해 2-프레임 상호상관(cross-correlation) 방식을 사용하였고 두 영상의 시간 간격(Δt)은 유동 조건에 따라 $\Delta t = 500 \sim 800 \mu s$ 로 설정하였고 CCD카메라의 영상 취득부는 용기의 바닥을 기준으로 $1105mm \times 72mm$ 이다.

용기 내 물이 배수가 되면 채워져 있는 물기둥의 높이가 시간에 따라 변하고 서프레서의 형

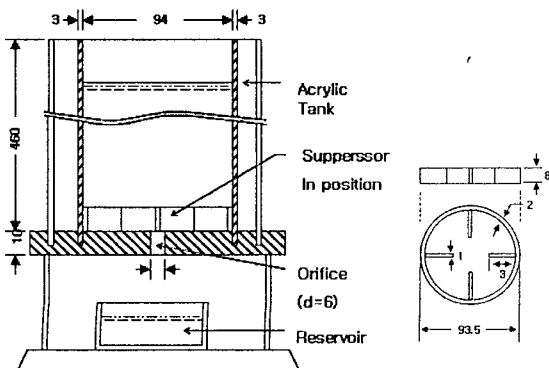


Fig. 1 Test section and suppressor

상, 용기 내 물의 회전 속도 등 다양한 조건들이 유동에 영향을 미치기 때문에 영상을 획득하는 시간이 짧아야 한다. 본 실험에서는 배수와 서프레서의 유무를 제외한 모든 조건들을 동일하게 하였고 오차를 줄이기 위해 여러 번 반복하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 바닥의 배수구가 막혀있고 서프레서가 장착되어 있지 않은 조건에서 측정된 속도장이다. 용기 내 물이 회전을 하게 되면 소용돌이 중심부에서는 위쪽으로 상승하는 유동이 발생하게 된다.

Fig. 3은 배수가 없고 용기 내 서프레서가 장착되어있는 조건에서 측정된 속도장이다. Fig. 2와 비교하면 중심부에서 상승하는 유동이 보다 강하게 나타난다. 용기 내의 물을 배수할 때 서프레서를 장착하면 회전하는 유동이 급격히 약화됨을 관찰할 수 있고 배수가 완전히 이루어지는 시간이 보다 짧아진다.

Fig. 4는 서프레서가 장착되지 않고 배수가 되는 조건에서 측정된 속도장이다. 배수가 시작되면 상부의 소용돌이가 차츰 하부의 배수구 까지 공기 기둥으로 연결이 된다. Fig. 4에서는 아직 공기기둥이 배수구와 연결되지 않은 상태이고 중심부에서는 배수구 쪽으로 하강하는 유동이 뚜렷하게 나타난다.

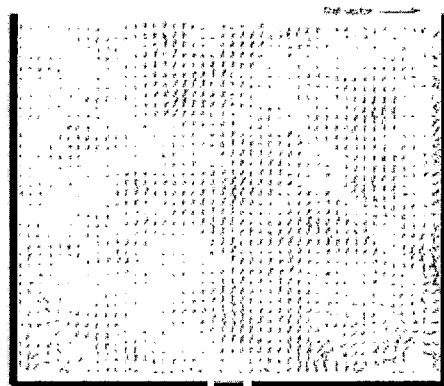


Fig. 2 Velocity vector when no draining without suppressor

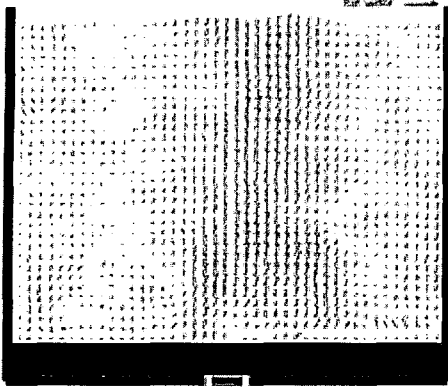


Fig. 3 Velocity vector when no draining with suppressor

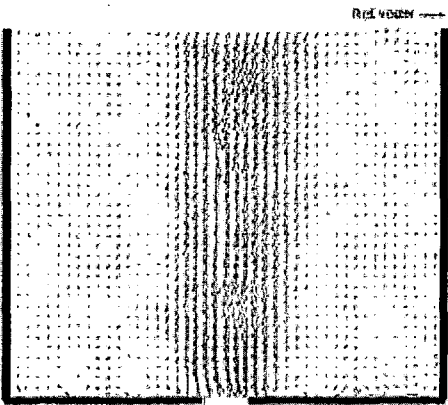


Fig. 4 Velocity vector when draining without suppressor

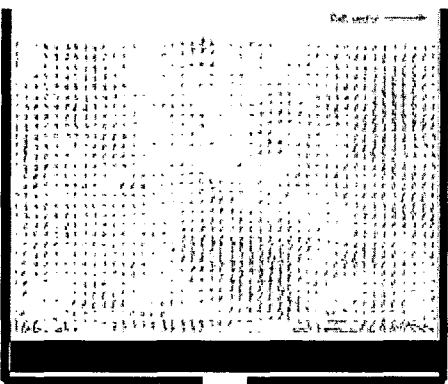


Fig. 5 Velocity vector when draining with suppressor

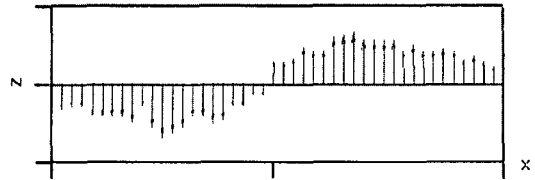


Fig. 6 Velocity vector of Z-axis direction at 36mm from bottom

Fig. 5는 서프레서가 장착되어 있고 배수가 되는 조건에서 측정한 속도장이다. 서프레서를 장착하게 되면 상부 소용돌이와 배수구 까지 연결되는 물기둥이 형성되지 않고 소용돌이는 급격하게 감소된다. Fig. 4에 비하여 중심부에서는 배수구 쪽으로 하강하는 유동이 약화되었다.

Fig. 6은 Stereoscopic PIV 측정기법을 이용하여 XY 평면의 2차원의 속도 벡터와 동시에 Z축 방향의 속도벡터를 구한 것이다. Fig. 6은 Fig. 2에서 용기의 바닥으로부터 Y축 방향으로 36mm 위치의 단면에서 Z축 방향의 속도 벡터이다. 속도 벡터는 좌우측이 대칭적으로 나타나고 측정 위치와 시간에 따라 조금씩 다르게 나타난다.

용기내 물이 완전히 배수되는 시간을 측정해 보면 서프레서가 장착되어 있지 않은 경우에는 1분 30초가 소요되고 서프레서를 장착하였을 경우에는 1분 5초가 소요된다. 여기서 서프레서는 회전하는 유동을 감소시켜 배수되는 시간에 영향을 미침을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 원통 용기 내 물을 회전시켜 배수와 서프레서의 장착 유무의 변화를 주면서 속도장의 변화를 실험적으로 연구하였다.

Stereoscopic PIV 측정기법을 이용하여 2차원의 속도 벡터와 동시에 3차원의 속도벡터를 구하였다. 용기의 배수구가 막혀있을 경우에 물을 회전시키면 회전하는 유동의 중심부에는 상승하는 유동이 발생하게 되고, 서프레서를 장착하게 되면 상승하는 유동이 보다 강해짐을 알 수 있다. 용기의 배수구가 열려있을 경우에 서프레서를 장착하게 되면 상부 소용돌이와 배수구 까지 연결되

는 물기둥이 형성되지 않고 회전하는 유동이 급격히 감소하고 배수되는 시간이 줄어든다.

참 고 문 헌

- 1) Abramson, H. N., Chu, W. H., Garz, L. R. and Ransleben, G. E., Some Studies of Liquid Rotation and Vortexing in Rocket Propellant Tanks., NASA Tech Note, D-1212.
- 2) Pasley, G. F., Propellant Vortexing in a Spinning Spacecraft., Journal of Spacecraft and Rockets, 18:5 (1981), 418.
- 3) Zhou, Q. N. and Gabel, W. P., Axisymmetric Draining of Cylindrical Tank with a Free Surface., Journal of Fluid Mechanics, 221 (1990), 511.
- 4) Ramamurthi, K. and Tharakan, J. T., Shaped Discharge Ports for Draining Liquids., Journal of Spacecraft and Rockets, 30:6 (1992), 786.
- 5) Gowda, B.H.L., "Draining of Liquid from Tanks of Square or Rectangular Cross Sections", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 33, No.2, 1996, pp. 311-312
- 6) Gowda, B.H.L., Joshy, P.J., and Swarnamani, S., "Device to Suppress Vortexing During Draining from Cylindrical Tanks", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 33, No.4, 1966, pp. 598-600