

회전 억제 장치에 따른 원통 내 회전 배출 유동특성

장잉저* · 박찬규* · 손창현**

Flow Characteristics for Vortexing Draining by Vortex Suppressor from Cylindrical Containers

Yingzhe Zhang* · Chan-Kyu Park* · Chang-Hyun Sohn**

ABSTRACT

In the present study, the flow field of a mesh type suppressor with varying holes at the central portion is studied to investigate drain flow characteristics in a cylindrical tank. Further, an attempt is made to understand the changes in the flow field brought about by the suppressors of different kinds in a circular tank which ultimately prevents vortex formation. For this purpose, flow visualization studies using PIV (Particle Image Velocimetry) to determine the flow patterns in a cylindrical tank with circular cross section without suppressor and with suppressor are carried out after imparting rotation to the liquid in the tank. Results are obtained when there is no draining and with draining. The flow field is visualized both in horizontal and vertical planes.

초 록

본 연구는 원통형 탱크에서의 유동의 배수 특성을 메시형 회전억제장치의 중앙 구멍의 크기를 변화 하면서 연구하였다. 그리고 원통 탱크 내부의 회전을 억제하는 다른 형태의 회전 억제장치를 사용하여 그에 따른 유동의 변화를 규명하고자 하였다. 측정 장치는 PIV을 이용하여 수행하였으며, 회전이 탱크 내부에 회전이 없는 경우와 있는 경우에 측정하였으며, 배수가 없는 경우와 배수가 있는 경우도 측정하였고 원통 탱크의 수직면과 수평면을 측정하였다.

Key Words: Vortex Flow(회전 유동), PIV, Mesh type(메시 형), Vane type(베인 형), Suppressor(억제), Drain(배출)

1. 서 론

바닥 중앙에 구멍이 있는 원형 실린더에 물을

채운 후, 채워져 있는 물에 회전을 가해서 배수를 시키게 되면 소용돌이(Vortex)가 형성된다. 물 표면이 어떤 임계 높이에 이르게 되었을 때 소용돌이 중심에 형성된 공기 기둥이 바닥의 배수구까지 연결되는데, 이 공기 기둥은 배출구 단면의 일부를 차지하게 된다. 즉, 원통 용기 내의 물이 회전하면서 배수가 되면 소용돌이가 생성

* 경북대학교 기계공학부 대학원

** 경북대학교 기계공학부

연락처, E-mail: chsohn@knu.ac.kr

되어 결국 배출율에 영향을 미치게 된다. 이러한 현상은 실제 제트엔진이나 액체로켓 등의 연료 탱크 시스템과 밀접한 관계가 있다. 물리적 환경 요인에 의해 연료 탱크 내부에 회전하는 유동이 발생하게 되면 엔진에 공급되어지는 유량의 변화와 공기기둥의 생성으로 인한 기포의 혼입 등으로 출력에 영향을 미칠 수가 있기 때문에 회전하는 유동을 억제하기 위한 다양한 연구들이 진행되었다[1-6].

소용돌이를 억제하기 위해 Abramson는 배플(Baffle)을 사용하였다[1]. Ramamurti와 Tharakan는 용기에서 초기 회전하는 유동에서 소용돌이를 방지하기 위해 단이 진 용기를 사용하였다[2]. Gowda는 정사각형과 직사각형 단면의 용기를 사용하여 소용돌이가 억제되는 것을 확인하였다. 그리고 소용돌이를 막기 위해서 접시모양의 그물망을 사용하였다[3, 4]. 그렇지만 서프레스서(Suppressor)가 소용돌이를 억제하는 원리는 분명하게 밝혀진 바가 없다.

본 실험에서는 종래 점측정 방식과는 달리 입자 영상으로부터 전체 속도장 정보를 획득할 수 있는 정량적 유동가시화 기법 중 하나인 PIV 속도장 측정기법을 이용하여 베인형 서프레스서(Vane-type suppressor)와 메시형 서프레스서(Mesh-type suppressor)가 원통 내부에서 배수시 소용돌이 유동을 억제하는 현상을 삼차원적으로 가시화 실험을 하여, 서프레스서의 종류에 따라 소용돌이 억제 효과에 어떤 차이점이 있는지와 그 원인을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 원통 용기와 서프레스서의 형상은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 제작되었다. 속도계측을 위한 영상획득을 위해 투명한 아크릴 재질로 제작되었고 빛의 왜곡이나 산란현상을 방지하기 위해 원통의 외곽에 사각덕트를 만들고 그 안에 물을 채웠다. 원형 실린더 내에 물을 채우고, 회전을 가한 후에 바닥 중앙에 있는 배수구를 개방하여 배수를 시킨다. 원형 실린더

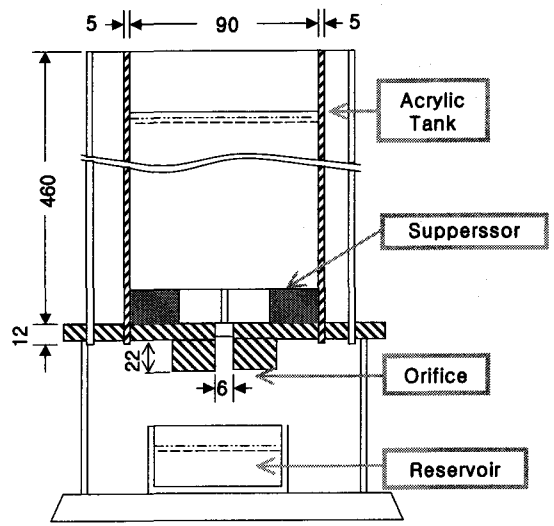


Fig. 1 Experimental Arrangement

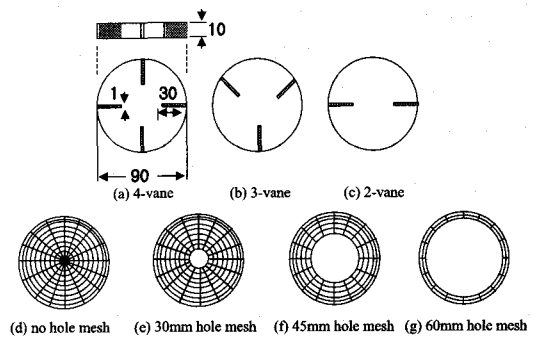


Fig. 2 Configurations of suppressor

내에서 물이 회전하게 되면 회전축에 대칭하여 회전하는 유동이 발생하게 되는데, 이 회전축은 시간에 따라 세차 운동을 하며 배수된다. 본 실험에서 회전속도는 120rpm, 물기둥의 높이는 350mm, 배수구의 직경은 6mm로 모두 일정하게 유지하였고, 서프레스서의 종류에 따라 원통 내 회전되어 배출되는 유동장을 가시화하였다.

Figure 2는 실험에 사용된 다양한 형태의 서프레스서이다. Figure 2(a)~(c)는 베인형 서프레스서(Vane-type suppressor)로써 베인의 길이와 두께, 높이는 각각 30mm, 1mm, 10mm로 원통 내에 장착하였고, 서프레스서에 의해 가려지는 부분

의 유동장도 측정할 수 있도록 외부 용기와 동일한 아크릴로 제작하였다. Figure 2(d)~(g)는 메시형 서프레서로 한변의 길이가 5mm인 마름모꼴의 메시로 이루어져 있다. 또한 중앙부에 구멍을 두었을 때, 구멍의 크기와 vortex 억제 효과의 관계를 확인하기 위해서 구멍을 두지 않은 메시형과 각각 직경이 30mm, 45mm, 60mm의 구멍을 둔 메시형의 서프레서를 제작하여 실험을 수행하였다.

Figure 3은 원통 내 회전하는 유동특성을 파악하기 위한 전체 실험장치의 개략도를 나타내었다. 속도측정을 위한 PIV system을 살펴보면, 광원은 연속광인 Ar-ion laser(⑦)를 사용하였다. CCD 카메라는 1014 × 1018 pixels의 해상도의 Kodak 1K 카메라(③)를 사용하였고, CCD 카메라와 Ar-ion laser를 동기화 시켜주기 위한 동기장치로 일본 KANOMAX사의 1877-AOM(④ Acoustic Optical Modulator)을 사용하였다. 2대 카메라의 디지털 영상을 2D-PIV Software를 이용하여 속도를 구하고, SPIV Software에 의해서 U, V, W의 속도벡터를 얻게 된다.

3. 결과 및 고찰

Figure 4는 배인이 4개인 서프레서를 장착한 경우의 원형 실린더에서 물을 회전시켜 배수시키지 않았을 때의 속도장을 나타낸 결과이다. Figure 4 (a)와 (b)는 각각 5초와 15초가 경과한 후에 획득한 순간 속도장으로써, X-Z좌표에서 Z방향 벡터를 보면 반시계 방향으로 회전하면서 대칭적인 형태를 나타내고 있음을 보여준다.

Figure 5의 (a), (b)는 동일한 조건에서 배인의 개수가 다른 서프레서를 장착하여 측정된 결과이다. 배수될 때의 속도벡터는 중심의 배수구가 있는 방향으로 일괄적으로 하강하며, Z축 방향의 유동에서는 반시계방향으로 회전하는 유동이 중심으로부터 반경방향으로 선형적으로 속도가 증가하다가 벽면 부근에서는 다시 감소하는 것을 알 수 있다.

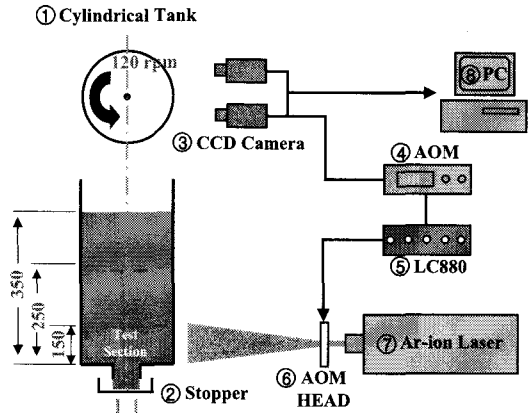


Fig. 3 Set up for PIV studies

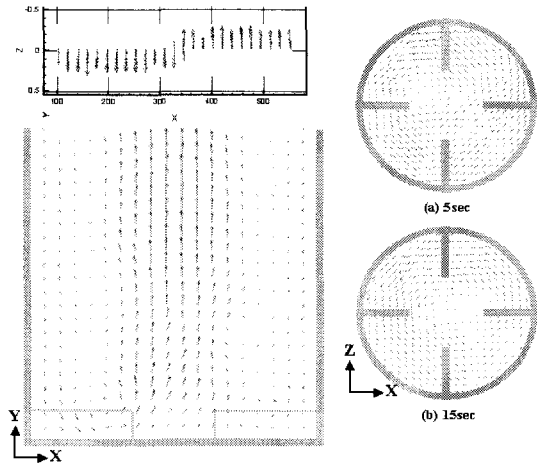


Fig. 4 Velocity vectors with 4 vane suppressor for no drain

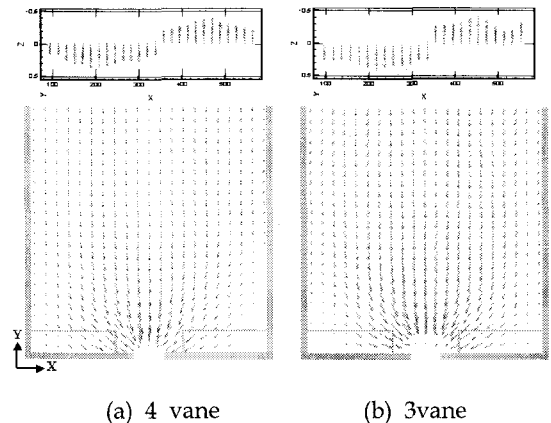


Fig. 5 Velocity vectors with vane type suppressor for drain

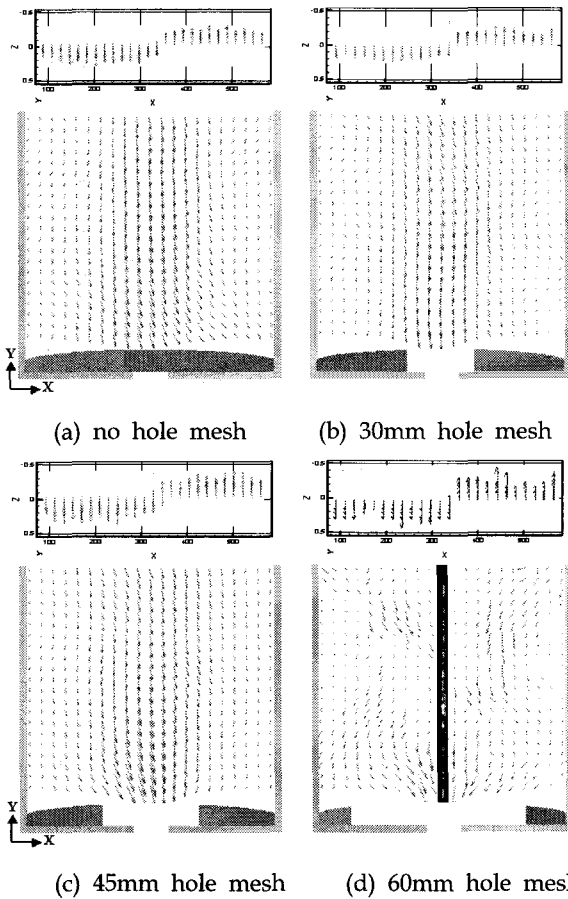


Fig. 6 Velocity vectors with mesh type suppressor for drain

Figure 6의 (a)~(d)는 동일한 조건에서 메시형의 서프레이서를 장착하여 배수시킨 조건에서의 결과이다. 배수될 때의 속도벡터는 배인형의 서프레이서가 장착되었을 때와 유사하게 중심의 배수구가 있는 방향으로 하강하는 유동 형태를 보인다. Figure 6 (d)에서는 회전 유동에 의한 공기 기둥이 형성되었다. 이것은 메시 중간에 60mm 이상의 구멍(hole)을 가지는 서프레이서는 vortex를 억제시키는 역할을 하지 못하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 원통 내에서 회전되어 배출되는 유동장에 있어서 배인형 서프레이서와 메시형 서프

레이서가 Vortex를 억제하는 유동 특성을 가시화하는 실험을 수행하였다. 실험결과 배수를 시키지 않는 경우의 유동장에서 원형 실린더 내부에 장착된 배인형과 메시형의 서프레이서는 바닥면의 중심부로부터 상부를 향하여 강하게 상승하는 유동을 발생시킨다. 그리고 서프레이서를 장착하고 배수시킨 경우, 장착된 서프레이서가 실험 장치 내부에 생성되는 Vortex를 억제하는 효과가 나타난다. 단, 메시형의 서프레이서의 경우 중앙에 60mm 이상의 hole이 있으면 Vortex를 억제하는 기능을 상실하며, 서프레이서는 회전 유동에 의해 생성되는 Vortex의 중심부에 낮은 압력이 형성되는 것을 억제하는 역할을 한다.

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*, p. 1212.
2. Ramamurthi, K. and Tharakan, J. T., "Shaped Discharge Ports for Draining Liquids," *Journal of Spacecraft and Rockets*, 30-6 (1992), pp. 786.
3. 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.
4. 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.
5. Zhou, Q. N. and Grabel, W. P., "Axisymmetric Draining of Cylindrical Tank with a Free Surface," *Journal of Fluid Mechanics*, 221 (1990), p. 511.
6. Pasley, G. F., "Propellant Vortexing in a Spinning Spacecraft," *Journal of Spacecraft and Rockets*, 18 · 5 (1981), p. 418.