

정사각형 용기로부터 회전배수 특성의 PIV 연구

주명근 · 손창현* · B. H. L. Gowda

A PIV STUDY OF VORTEXING DURING DRAINING FROM SQUARE CONTAINERS

M. G. Ju · C. H. Sohn* · B. H. L. Gowda

ABSTRACT

In the present study, the flow field in a square container with various corner rounding is studied to investigate drain flow characteristics. An attempt has been made to understand the mechanism that is responsible for vortex suppressing by the different radius of rounding at the corner. For this purpose, flow visualization studies using PIV (Particle Image Velocimetry) are employed to determine the flow patterns in a square 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 정사각형 용기에서 배수시 유동장의 변화를 이해하기위하여 용기의 모서리의 반경변화에 따른 배수흐름의 특성을 연구하였다. 이 연구의 목적은 서로 다른 반지름의 모서리가 와류생성을 억제하는 원리에 대해 이해는 것이다. 사각형 용기의 유동장을 가시화하기 위하여 PIV기법을 사용하였다. 그리고 배수가 있을 때와 없을 때에 대해, 각각 수직방향과 수평방향에서 결과를 얻었다.

Key Words : Vortex Flow, PIV, Square Container, Drain

1. 서 론

유체가 원통형 용기의 중심에 위치한 배수구를 통하여 회전하며 배수될 때, 특정한 수위에 도달하면 에어코어를 동반한 와류가 생성된다. 에어코어가 생성되어 그 영역이 증가되면 배수구의 단면적이 감소하는 효과가 발생되어, 그에

따라 배출 유량도 감소하게 된다[1-3]. 회전운동과 같은 초기 교란과 장치의 진동도 와류의 생성을 증가시킬 수 있다[4]. 이 현상은 우주선이나 로켓의 연료 공급장치에 있어서 중요하다. 이런 와류현상은 우주선이나 로켓의 비행시 연료 탱크에서 엔진으로의 흐름에 영향을 끼칠 수 있으며 또한 유입구의 유동특성에 있어서도 중요한 현상중 하나이다. 와류생성을 방지하기위하여 Ramamurti 와 Tharakan [5]는 형상 변경을 제안하였고, Gowda[6-7]는 접시타입과 베인타입의

* 경북대학교 공과대학 기계공학부
손창현, chsohn@knu.ac.kr

와류억제장치를 제안 하였다. Mizuki et al[8]의 접시타입 와류억제장치에 대한 연구가 있었지만, 어떤 방식으로 와류억제장치들에 의해 와류현상이 억제되는지에 대해서는 명확히 밝혀져 있지 않다.

본 연구에서는 모서리가 임의의 반지름을 가지는 사각형 용기에서 유동장의 변화가 어떻게 와류생성을 방지하는가에 대해 이해하고자 한다. 이를 위하여 사각형 용기내의 모서리의 반지름 변화에 따른 유동패턴의 변화를 PIV(Particle Image Velocimetry)기법을 이용하여 관찰하였다. 그리고 배수가 있을 때와 없을 때에 대해, 각각 수직방향과 수평방향에서 결과를 얻었다.

2. 실험장치

개략적인 실험기구의 형상은 Fig. 1과 같다. 사각 컨테이너의 내부치수는 가로와 세로가 각각 90mm, 높이 460mm이며 바닥의 중심에 지름 6mm의 원형 배수구가 있다. 모서리의 반지름은 0.5mm의 PVC 비닐을 이용하여 제작하여 사각형 용기에 삽입하였다.

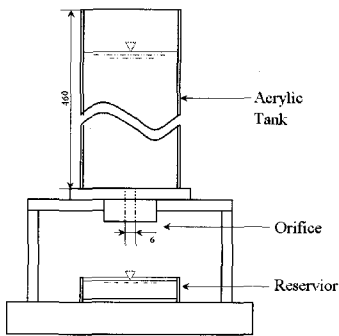


Fig. 1 Schematic diagram of Square tank

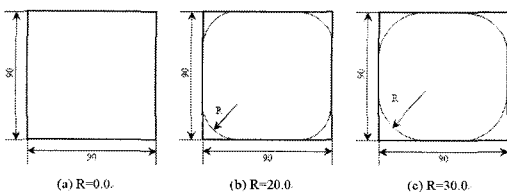


Fig. 2 Schematic diagram of section

Fig. 2는 각각의 경우의 단면의 형상과 치수를 개략적으로 나타낸 것이며, 정사각형 한 변의 길이(L=45mm)에 대해 모서리의 반경을 3가지 (a) R=0mm, (b)R=20mm, (c)R=30mm로 변화 하였다. Fig. 3은 Diode Laser(820mW)와 Readlake MotionPro HS-3 High-speed CCD 카메라 (1040fps, 1280x1024)를 이용하여 구성된 PIV시스템을 보여주고 있다. 실험에 사용된 프레임은 150fps이며, 사용한 소프트웨어는 ProVision-XS이다.

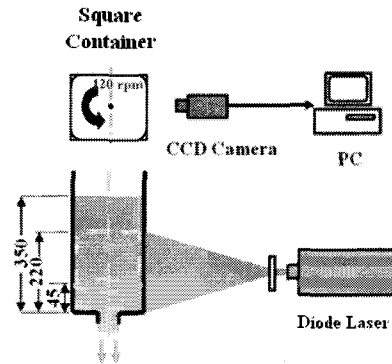


Fig. 3 Schematic diagram of experiment

3. 결과 및 고찰

원통 용기내의 유체에 회전을 가한 후 배수를 시작하면 와류방지장치가 없는 경우 와류가 생성된다. 그리고 와류가 생성되는 임계높이는 가해진 회전수에 영향을 받는다. 하지만 회전수가 90RPM을 초과하면 임계높이는 변하지 않는다 [4]. 본 실험에서는 120RPM의 회전을 가한 후 각각의 경우마다 10초, 20초, 30초에서의 유동장의 형상과 속도를 측정하여 비교하였다. 실험의 무차원화를 위하여 정사각형 한 변의 길이와 모서리의 반경 비(R/L)를 사용하였다. 수평방향의 유동장의 경우 바닥면에서 45mm높이에서 측정을 하였고, 유동장의 세기는 화살표의 크기와 색의 변화로 나타내었다.

3.1 배수가 없는 경우의 결과

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 정사각형 단면에서 모

서리 반경의 변화에 따른 수평면의 순간속도벡터를 10초, 20초, 30초에서 나타내었다. $R/L=0.0$ 인 정사각형 용기의 10초(Fig. 4 (a))를 살펴보면 중앙의 큰 하나의 시계방향 와류와 모서리의 4곳의 작은 반시계방향 와류들이 나타난 것을 알 수 있다. $R/L=0.22$ (Fig. 5 (a))에서는 1곳에서만 반시계방향의 와류가 나타났고 $R/L=0.33$ (Fig. 6 (a))에서는 와류가 나타나지 않았다. 사각모서리의 반경 R 이 작아질수록 시간에 따른 회전속도가 빨리 감소함을 볼 수 있었다.

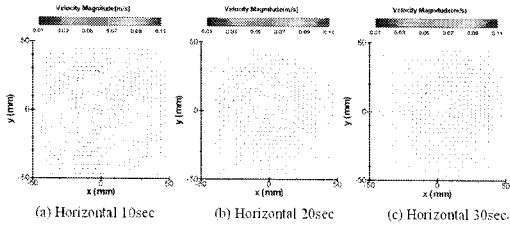


Fig. 4 Velocity vectors($R/L=0.0$, no draining)

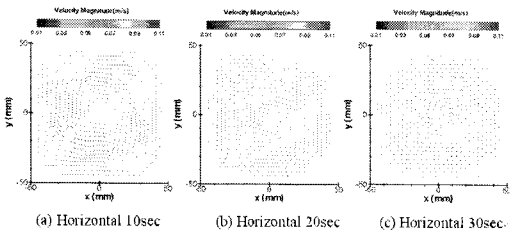


Fig. 5 Velocity vectors($R/L=0.22$ no draining)

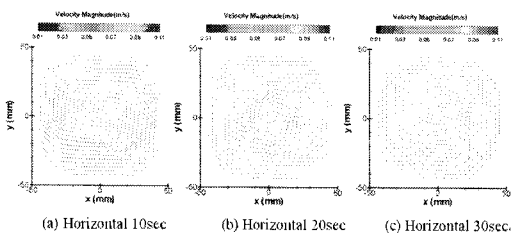


Fig. 6 Velocity vectors($R/L=0.33$ no draining)

3.1 배수가 있는 경우의 결과

배수가 있는 경우에는 $R/L=0.0$ 에서는 에어코어가 생기지 않았고, $R/L=0.22$ 에서는 수면에서 에어코어가 생겼으나 배수구까지 어이지 않고 10초 이내에 소멸 되었으며, $R/L=0.33$ 에서는 에어코어가 확실히 생성되어 약 20초까지 지속되었다. 따라서 에어코어가 생성되는 임계점은 $R/L=0.22$ 이내로 볼 수 있을 것이다. 10초에서의

수평면의 순간속도벡터를 살펴보면 배수가 없는 경우와 동일하게 $R/L=0.0$ (Fig. 8 (a))과 $R/L=0.22$ (Fig. 9 (a))에서는 모서리의 와류가 나타났고 $R/L=0.33$ (Fig. 10 (a))에서는 나타나지 않았다.

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12는 각 모서리 반경에 대한 수직면의 순간속도벡터를 10초, 20초, 30초에 나타낸 것이다.

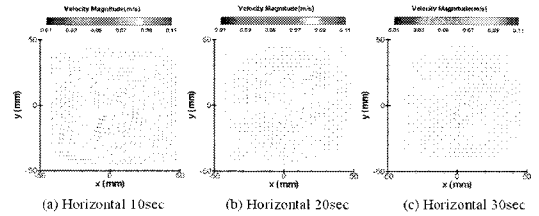


Fig. 7 Velocity vectors($R/L=0.0$, draining)

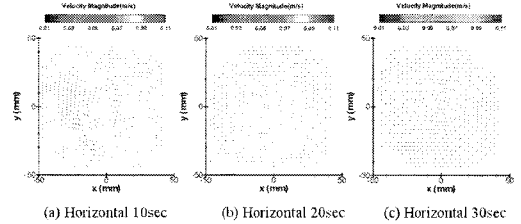


Fig. 8 Velocity vectors($R/L=0.22$, draining)

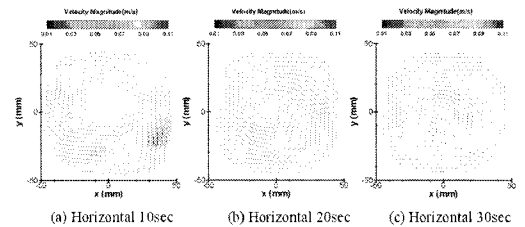


Fig. 9 Velocity vectors($R/L=0.33$, draining)

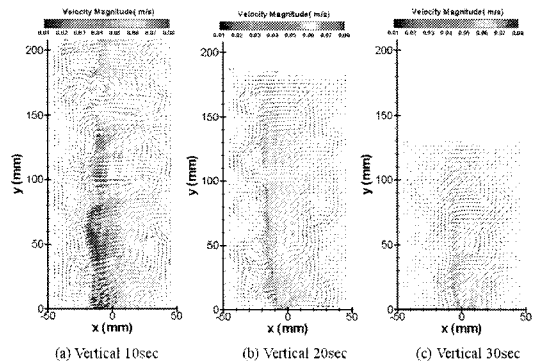


Fig. 10 Velocity vectors($R/L=0.0$, draining)

참고문헌

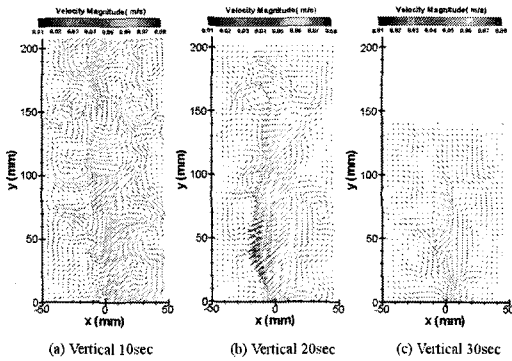


Fig. 11 Velocity vectors($R/L=0.22$, draining)

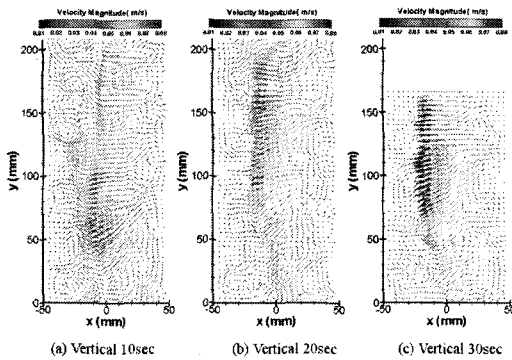


Fig. 12 Velocity vectors($R/L=0.33$, draining)

각 그림의 30초 부분을 보면, 에어코어에 의한 배수구 면적의 감소효과로 인해 수위의 차이가 발생함을 볼 수 있다.

3.3 결론

본 연구에서는 정사각형 용기에서 모서리 변화에 따른 배수흐름의 특성을 연구하였다. 정사각형상의 단면은 모서리에서 회전과 반대 방향의 와류를 생성하여 중앙의 와류의 속도를 감소시키고, 그에 따라 에어코어의 생성도 억제한다. 하지만 모서리 반경의 치수가 커지면 그 효과가 점차 줄어들어, 모서리 반경의 치수가 임계점에 도달하면 원형단면과 비슷한 현상을 보인다. 본 연구에서는 그 임계점은 모서리 반경과 단면의 길이의 비(R/L)가 0.22 이내인 것으로 판단된다. 이 현상에 대하여 보다 정확한 이해를 위하여 앞으로도 많은 연구가 필요할 것이라 생각된다.

1. Abramson H. N., Chu W. H., Garza L. R., and Ransleben G.E., "Some Studies of Liquid Rotation and Vortexing in Rocket Propellant Tanks", NASA D-1212, Feb. 1962, pp. 1-35.
2. Pasley G. F., "Propellant Vortexing in a Spinning Spacecraft", Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 18, No.5, 1981, pp. 418-426.
3. Zhou Q. N., and Graebel W. P., "Axisymmetric Draining of Cylindrical Tank with a Free Surface", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 221, Dec. 1990, pp. 511-532.
4. Gowda B.H.L., Joshy P. J. and Swarnamani S., "Influence of rotation and vibration on discharge of liquid from a cylindrical tank", Indian Journal of Engineering and Material Sciences, Vol. 3, 1996, pp. 133-140.
5. Ramamurthi K., and John Tharakan T., "Shaped Discharge Ports for Draining Liquids", Journal of Spacecraft and Rockets (AIAA), Vol. 30, No.6, 1992, pp. 786-788.
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 (AIAA), Vol. 33, No.4, 1996, pp. 598-600.
7. Gowda B.H.L., and Udhayakumar H., "Vane-type suppressor to prevent vortexing during draining from cylindrical tanks", Journal of Spacecraft and Rockets (AIAA), Vol. 42, No.2, 2005, pp. 381-383.
8. Mizuki, S., Gowda B.H.L. and Uchibaba T., "Visualization studies using PIV in a cylindrical tank with and without vortex suppressor", Journal of Visualization (Japan), Vol. 6, No.4, 2003, pp. 337-342.