

# 원형 용기의 중심에서 벗어난 유출구 위치에 따른 회전배수 특성의 PIV 연구

주명근 · 손창현\* · B. H. L. Gowda

## A PIV STUDY OF VORTEXING DURING DRAINING FROM Cylindric 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 원형 용기에서 배수시 배수구멍의 위치가 중심선에서 벗어난 정도에 따른 배수율과 유동장의 변화를 이해하기 위하여 배수위치의 변화에 따른 배수흐름의 특성을 연구하였다. 이 연구의 목적은 서로 다른 위치의 배수구가 와류생성을 억제하는 원리에 대해 이해하는 것이다. 원형 용기의 유동장을 가시화하기 위하여 PIV기법을 사용하였다. 그리고 배수가 있을 때와 없을 때에 대해, 각각 수직방향과 수평방향에서 결과를 얻었다.

Key Words : Vortex Flow, PIV, Cylindric Container, Off axi-position, 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 있

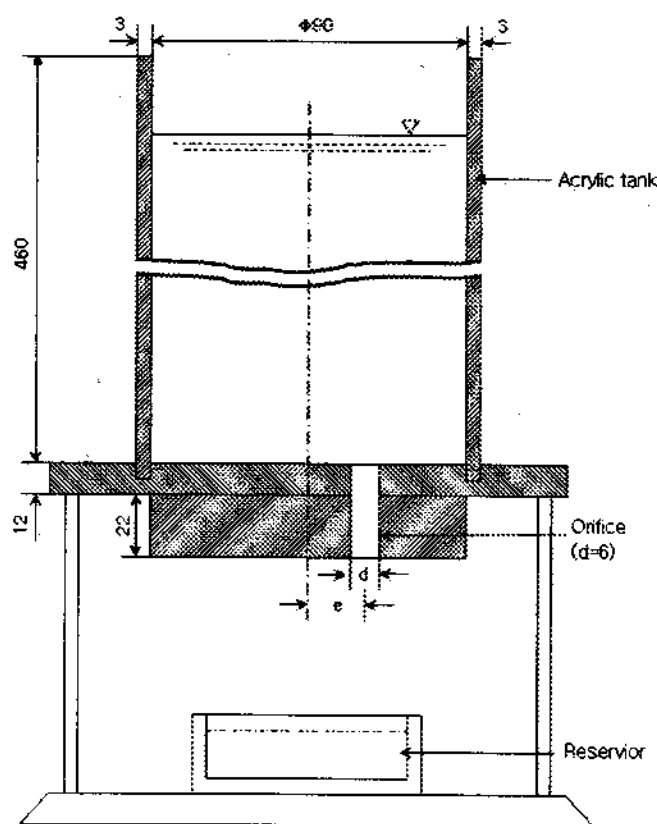
\* 경북대학교 공과대학 기계공학부  
손창현, chsohn@knu.ac.kr

으며 또한 유입구의 유동특성에 있어서도 중요한 현상중 하나이다. 와류생성을 방지하기 위하여 Ramamurti 와 Tharakan [5]는 형상 변경을 제안하였고, Gowda[6-7]는 접시타입과 베인타입의 와류억제장치를 제안 하였다. Mizuki at el[8]의 접시타입 와류억제장치에 대한 연구가 있었지만, 어떤 방식으로 와류억제장치들에 의해 와류현상이 억제되는지에 대해서는 명확히 밝혀져 있지 않다.

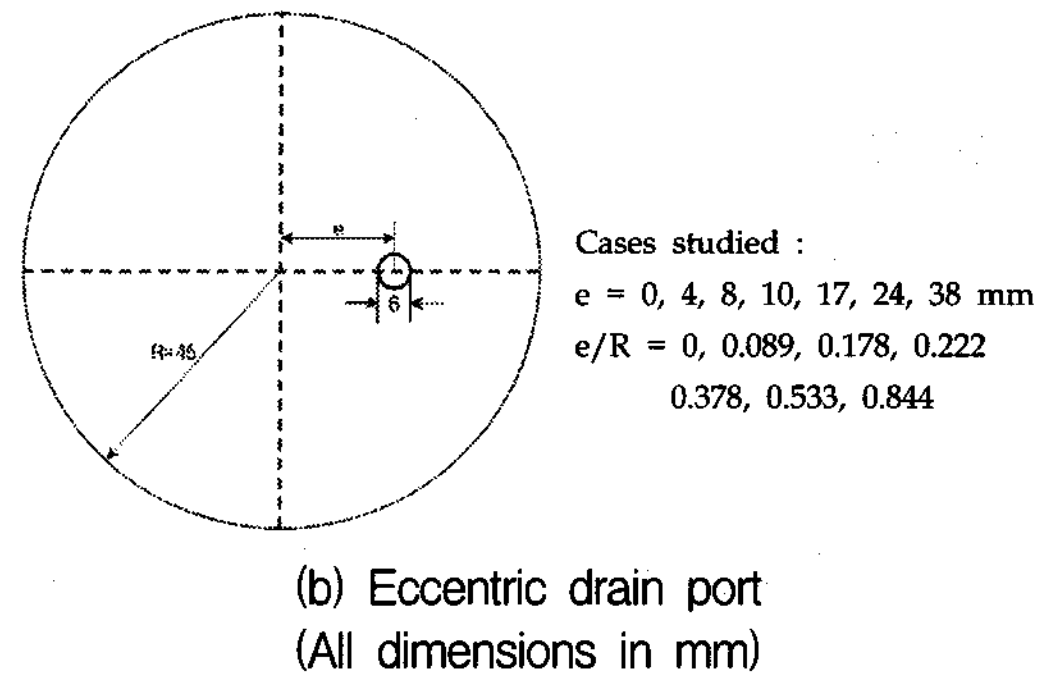
본 연구에서는 원통형 용기의 배수구 위치를 중심 위치에서 벗어났을 때의 원형 용기에서 유동장의 변화가 어떻게 와류생성을 방지하는가에 대해 이해하고자 한다. 이를 위하여 용기의 중심에서 배수구까지의 거리의 변화에 따른 유동패턴의 변화를 PIV( Particle Image Velocimetry)기법을 이용하여 관찰하였다.

## 2. 실험장치

개략적인 실험기구의 형상은 Fig. 1과 같다. 원형 컨테이너는 지름 90mm, 높이 460mm의 아크릴 탱크로 만들어 졌으며, 바닥의 중심에서 e 만큼 떨어진 곳에 지름 6mm의 원형 배수구가 위치한다. 중심에서 배수구까지의 거리를  $e = 0, 8, 10, 17, 24, 38\text{mm}$ 로 변화시키며 실험을 실행하였다.



(a) Cylindrical container



(b) Eccentric drain port  
(All dimensions in mm)

Fig. 1 Experimental Arrangement

Fig. 2은 Diode Laser(820mW)와 Readlake MotionPro HS-3 High-speed CCD 카메라 (1040fps, 1280x1024)를 이용하여 구성된 PIV시스템을 보여주고 있다. 실험에 사용된 프레임은 300fps이며, 사용한 소프트웨어는 ProVision-XS이다.

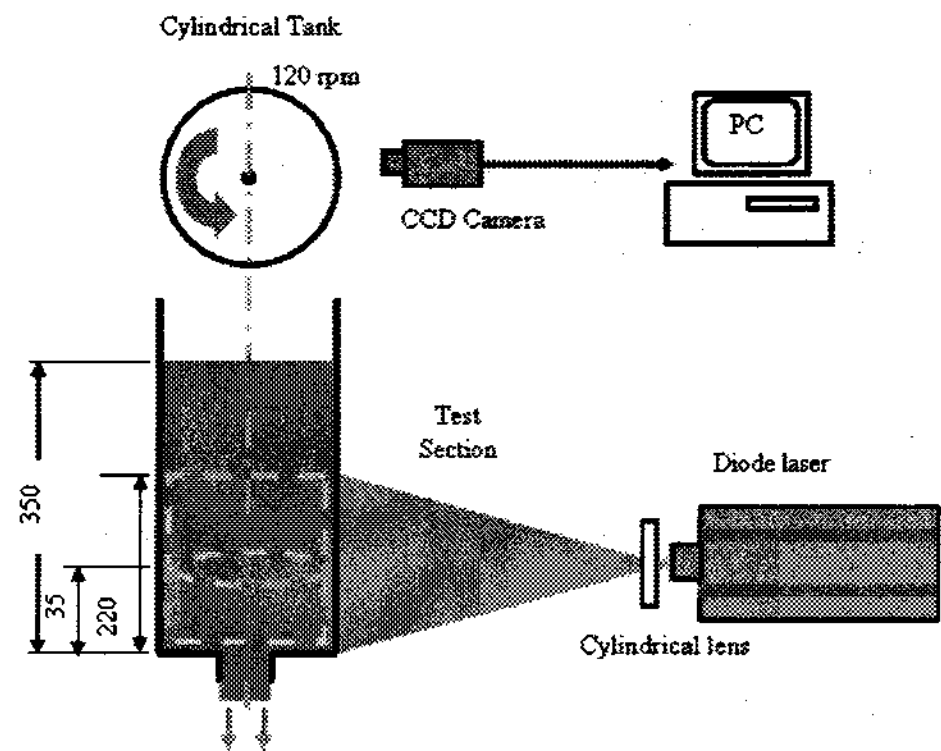


Fig. 2 PIV Arrangement

## 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 중심에서 배수구까지의 거리와 실린더의 반지름의 비( $e/R$ )를 사용하였다. 수직방향의 속도장의 경우 회전의 중심축이 원통용기의 중심축과 일치 하지 않아 3차원 유동이 되어, 그 단면의 속도장을 측정하는것은 유동장의 정보를 충분히 얻을수 없어 수평방향의 속도장만 측정하였다. 수평방향의 유동장의 경우 바닥면에서 45mm높이에서 측정을 하였고, 유동장의 세기는 화살표의 크기와 색의 변화로 나타내었다.

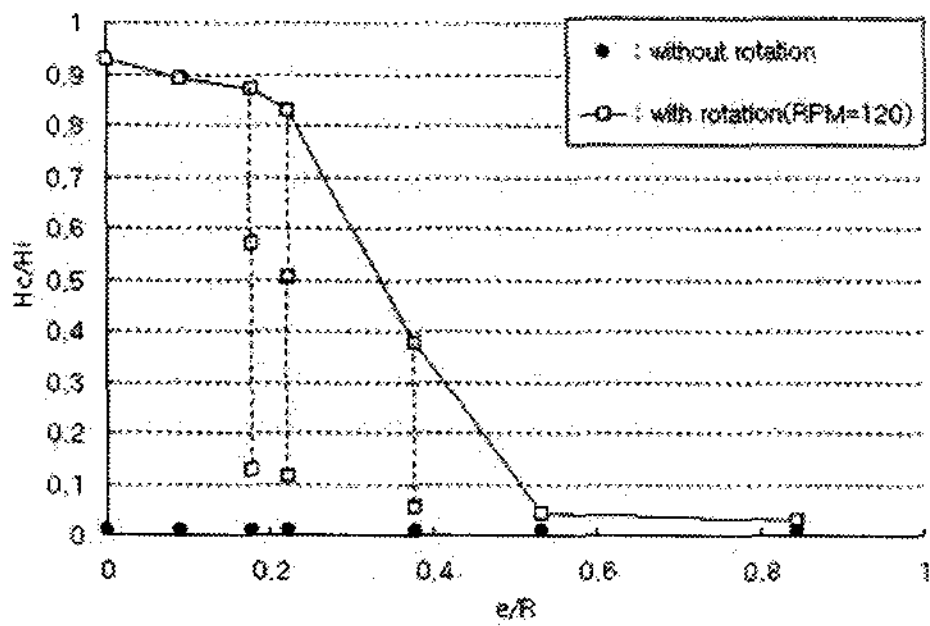


Fig. 3 Effect of eccentricity on critical height

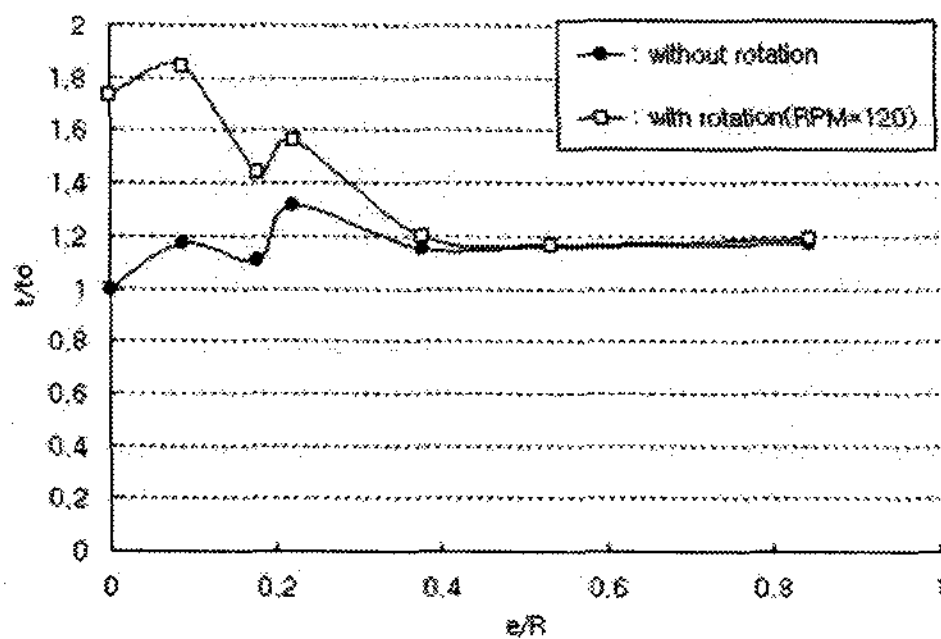


Fig. 4 Effect of eccentricity on time of draining

Fig. 3과 Fig. 4는  $e/R$ 의 변화에 따른 에어코어의 생성높이( $H_c$ )와 초기상태의 수위( $H_1$ )의 비와 배수 시간을 나타내고 있다. 먼저 Fig. 3에서  $e/R=0, 0.089$ 에서는 하나의 에어코어가 발생하였고, 에어코어는 배수가 끝날 때 까지 지속되었다. 하지만  $e/R=0.178, 0.22$ 에서는  $H_c/H_1=0.8\sim 0.9$ 에서 에어코어가 발생한 후 바로 사라졌고, 수위가  $H_c/H_1=0.5\sim 0.6$ 에 도달한 후 다시 에어코어가 생성되었다. 이 에어코어 역시 얼마의 시간동안 유지하다 다시 사라졌고,  $H_c/H_1=0.1\sim 0.15$ 에서 또

다시 생성된 후 배수가 끝날 때 까지 지속되었다. 즉 에어코어가 총 3회 발생하였다.  $e/R=0.378$ 에서는 총 2회의 에어코어가 발생하였고,  $e/R=0.533$  이상에서는 배수가 끝날 무렵에서만 에어코어가 발생 하였다.

Fig. 4에서 먼저 회전이 없이 배수를 시킨 경우에서 용기 중심에서 배수구까지의 거리  $e$ 가 증가할수록 배수 시간이 증가함을 알 수 있다. 회전이 있는 경우의 배수시간을 살펴보면, 에어코어가 발생한  $e/R=0 \sim 0.22$ 에서는 배수시간이 회전이 없을 경우 에 비해 높게 나타남을 알 수 있고,  $e/R=0.378$ 에서는 에어코어가 발생 하였으나 그 영향은 미미하여 배수시간은 회전이 없는 경우와 거의 일치하였으며,  $e/R=0.533$  이상에서는 회전이 없는 경우와 일치 하였다.

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9은 각각  $e/R=0, 0.089, 0.378, 0.844$ 에서 수평면의 순간속도벡터를 10초, 20초, 30초에서 나타내었다. 에어코어가 생성되어 오래 지속된 경우(Fig. 5, Fig. 6)와 에어코어가 생성되지 않거나 빨리 사라진 경우(Fig. 7, Fig. 8)의 속도벡터를 비교하면, 에어코어가 생성되지 않은 쪽의 시간에 따른 속도의 감쇄가 더 큼을 알 수 있다. 그리고  $y=0$ 에서의 속도 프로파일을 살펴보면 에어코어가 생성되지 않은 쪽이 속도의 기울기가 더 평평함을 알 수 있다.(여기에는 나타내지 않았다.)

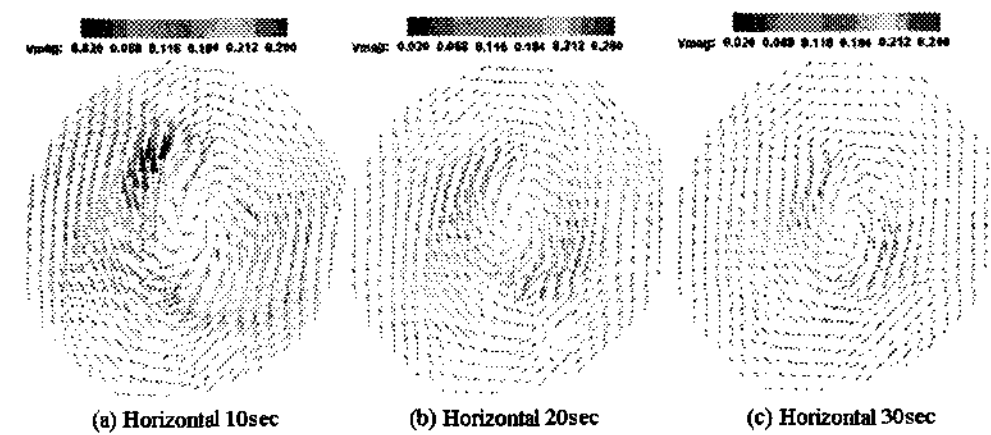


Fig. 5 Velocity Vectors( $e/R=0.0$ )

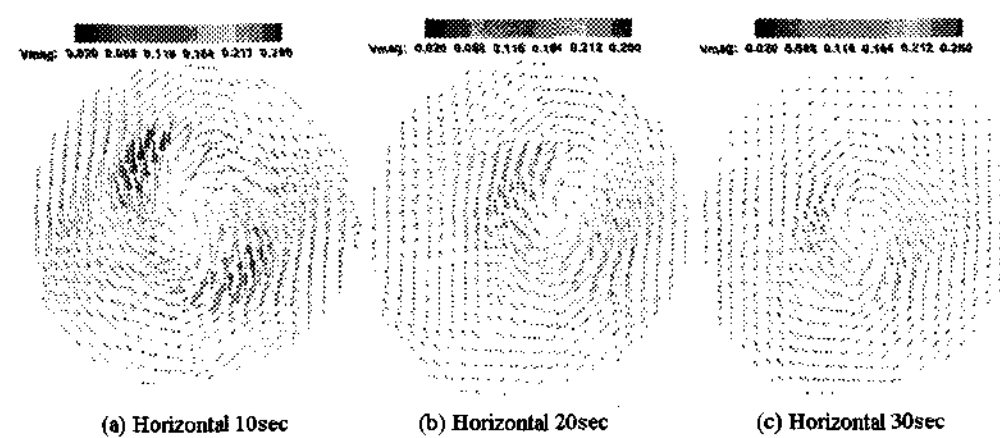


Fig. 6 Velocity Vectors( $e/R=0.089$ )

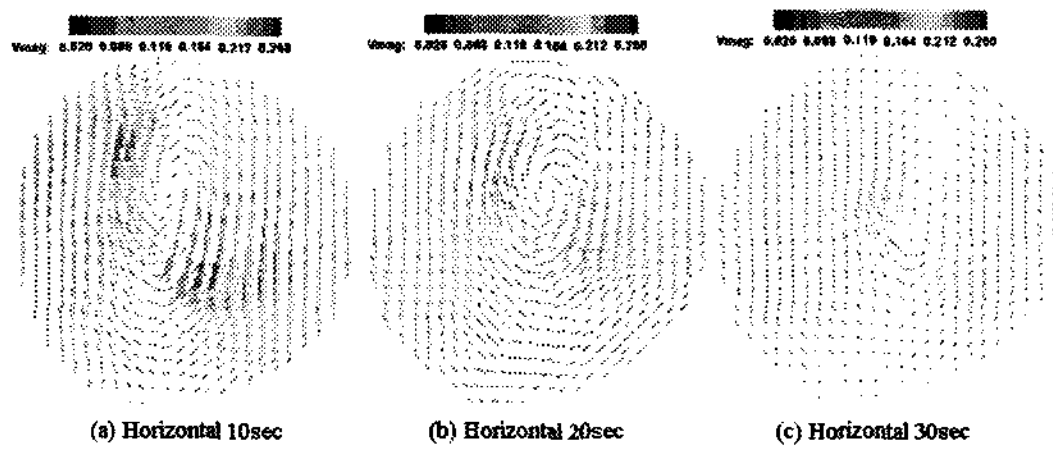


Fig. 7 Velocity Vectors( $e/R=0.378$ )

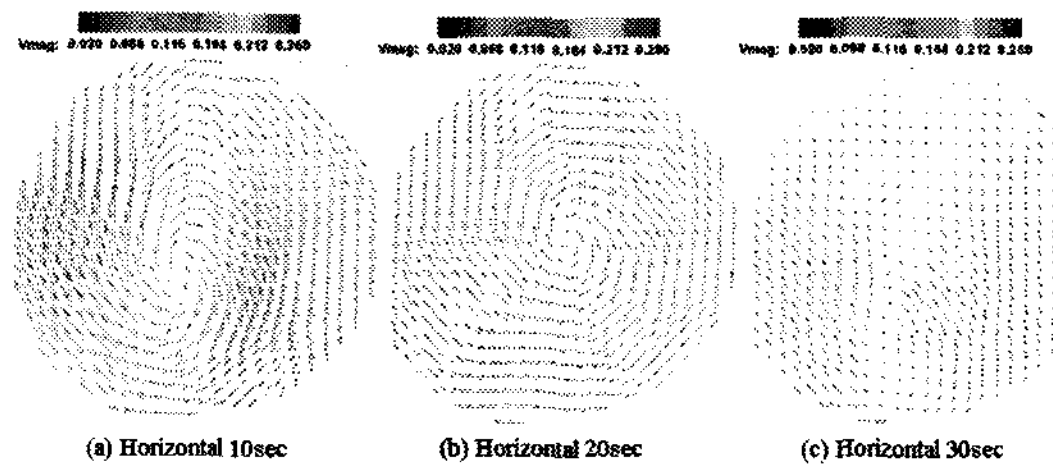


Fig. 8 Velocity Vectors( $e/R=0.844$ )

#### 4. 결 론

본 연구에서는 원형 용기에서 배수구의 위치에 따른 배수흐름의 특성을 연구하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 배수구가 용기 중심에서 일정이상 멀어지면 ( $e/R > 0.533$ ) 에어코어가 생성되지 않았다.
- 2) 배수구의 위치가 용기의 중심과 일치하지 않으면 회전이 없는 경우에도 배수시간은 약 20% 증가하였다.
- 3) 에어코어가 생성되지 않은 경우의 속도 프로파일은 에어코어가 생성되었을 때 보다 평평하였다.

#### 참 고 문 헌

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.