

論文

장방형탱크 내부 슬로싱 현상에 관한 PIV적용에 관한 연구

김광선*, 최주열**, 조대환***

* 목포해양대학교 대학원 기관시스템공학과

, 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수

A Study on Application of PIV to Sloshing Phenomenon inside Rectangular Tank

K. S. Kim*, D. H. Cho**, J. Y. Choi***

* Graduate school of Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

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

요 약 : 슬로싱 현상은 탱크안의 자유표면을 갖는 유체의 비선형거동으로 탱크안의 구조물에 동적 하중을 발생시키므로 일반적으로 해양 구조물의 설계에 중요한 문제이다. 이 연구에서는 피칭운동을 하는 사각탱크 내에서 자유표면을 갖는 유체의 슬로싱에 대해 실험적으로 연구하였다.

핵심용어 : 슬로싱현상, 사각탱크, 피칭운동, 입자영상유속계

ABSTRACT : *The sloshing phenomenon can be defined as the nonlinear movement of the free-surface of liquids inside tanks. It generates dynamic loads on the tank structure and thus becomes a problem of relative importance in the design of marine structures. The present study describes a experiment of the sloshing of flows with free-surface which contained in a rectangular tank moving in pitching motion.*

KEY WORDS : *Sloshing phenomenon, Rectangular tank, Pitching motion, PIV*

1. 서 론

용기 내에 액체가 외부의 가진력으로 인하여 출렁거리는 현상을 슬로싱(sloshing)이라한다. 선박은 주기적으로 횡동요를 하게 되고 이는 탱크내의 유체에 슬로싱을 발생시킨다. 이때 탱크 내부에 있는 유체의 공진주파수와 가까워지면 슬로싱현상은 심화되어 유체를 포함하는 구조물은 정적인 상태와 다른 특성을 보이게 된다. 이러한 슬로싱 현상은 탱크안의 자유표면을 갖는 유체의 비선형거동으로 탱크안의 구조물에 동적 하중을 발생시키며, 심한경우 감항성을 저해하는 심각한 원인이 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 여러 조건에 따른 슬로싱 현상을 물리적으로 규명해야 하며 유체역학적으로 유체거동을 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다. 유체 거동을 파악하기 위해서는 시간에 따른 유동장의 속도 및 압력분포를 정량적으로 계측 할 수 있어야 한다.(Nasar, et., al, 2008)

이 연구에서는 피칭운동을 하는 사각탱크 내에서 자유표면을 갖는 유체의 슬로싱에 대해 실험적으로 연구하였다. 내부 액체의 유동현상을 PIV기법을 적용하여 계측한 결과, 장방형 탱크 내부 유동장에 대해 실제 운동 상황을 모사한 운동 중의 시간에 따른 속도분포를 계측 할 수 있는 기술을 확보하였다. 피칭운동 중 시간의 진행에 따른 속도분포는 수평을 기준으로 약

3도의 경사(count clockwise)에서 최대값을 보였으며 벽면 및 탱크 상부 흐름에 작은 와류의 발생 및 소멸이 관찰되었다.

2. 실험

Fig. 1은 PIV실험장치의 배치도를 나타낸다. 계측시스템은 고속카메라, 레이저 및 계측소프트웨어(CACTUS 3.1)가 탑재된 호스트 컴퓨터로 구성되어있으며, 모델은 실제크기의 약 1/50이다. 이 탱크는 슬로싱을 발생시키기 위하여 탱크높이를 기준으로 $x/D=0.64$, $y/D=0.71$ 지점에 중심으로 12도 전후의 주기적 피칭운동이 가능하도록 운동발생장치를 설치하였다. 탱크 내부의 액체의 충진율과 주기는 각각 70%와 1.12Hz이며 탱크 모델에 발생하는 슬로싱현상에 대해 PIV실험을 하였다.(한원희, 2008) 측정영역은 305mm × 70mm의 크기이며 모델탱크의 가로 중앙 단면이다.

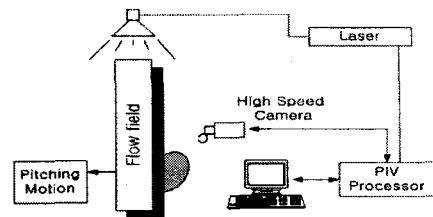


Fig. 1 PIV Experiment Setup

** 대표저자 : 정희원, jychoi@mmu.ac.kr, 061)240-7206

*** 교신저자 : 종신회원, dhcho@mmu.ac.kr, 061)240-7217

운동중의 속도분포를 구하기 위하여 모델탱크 중앙 단면에 광원을 조사하고 전방에 설치된 고속카메라로 영상을 호스트 컴퓨터로 전송하여 CACTUS 3.1소프트웨어로 속도를 계산 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 선박 화물탱크를 모델링 하여 제작한 모델내부의 유체유동을 고속카메라로 촬영한 결과이며 시간간격은 1/240초이다. 실제 운항시 액체화물은 슬로싱에 의하여 탱크내부에 설치된 구조물에 유체동하중을 주게 된다. 사진에서 서클로 표시된 부분은 탱크가 피칭운동을 할 때 상부의 자유표면부분으로 내부의 큰 유동을 야기하는 부분으로 좌측으로 진행하여 반대편의 벽에 부딪혀 유동방향이 바뀌게 된다. 그림(d)에서 사각으로 표시된 부분은 이 과정에서 발생된 작은 규모의 와류가 함께 우측으로 진행하며 이동속도는 감소하게 된다.

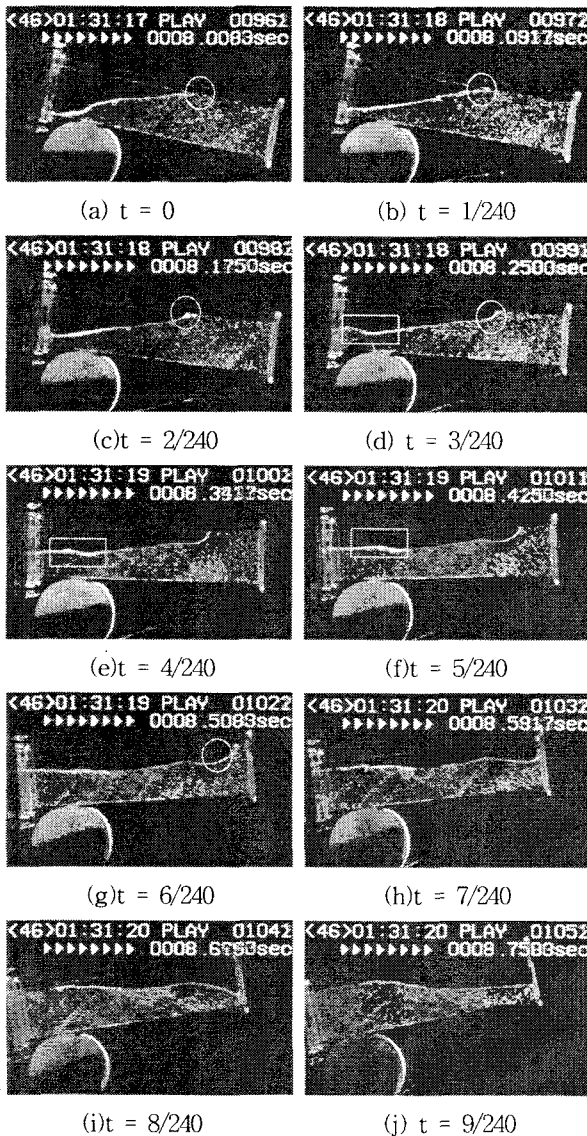


Fig.2 Variation of the water height for rectangular tank under pitching motion translational excitation with 1.12Hz

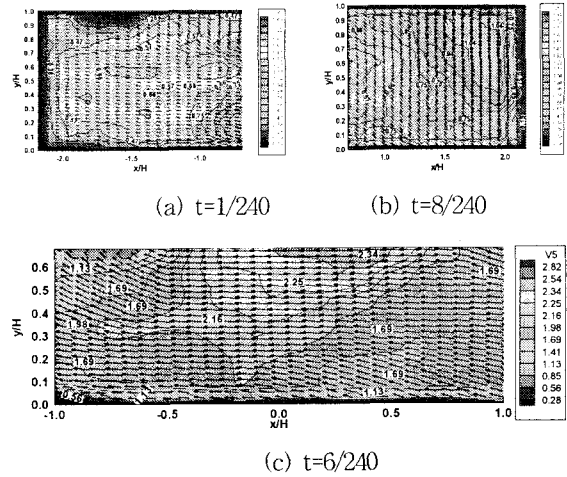


Fig. 3 Velocity vectors in flow field

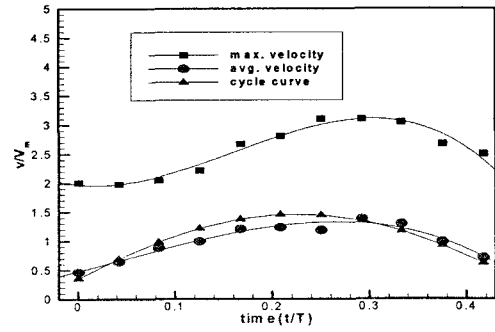


Fig. 4 Velocity variation in time series

그림3은 PIV기법으로 계측한 속도벡터 분포로서 모델을 삼등분하였을 때 (a)는 우측부분이고 (b)와 (c)는 좌측과 우측부분이다. 속도는 상부가 가장 빠르며 하사점으로부터 상승하는 경우 시간진행에 따라 속도가 증가 하였다가 수평이후부터 일정시간이후 감소하게 된다. 그림 4는 주기와 관련된 데이터를 분석하기 위해 유도장내 최고속도와 평균속도의 분포를 약 반주기동안 나타낸 것이다. 자유표면 영역의 슬로싱을 주도하는 큰 유동과 평균흐름의 주기차이는 사인파를 기준으로 약 18도 지연되는 결과를 보였다.

4. 결론

이 연구에서는 피칭운동을 하는 사각탱크 내에서 자유표면을 갖는 유체의 슬로싱에 대해 PIV기법을 적용하여 고찰한 결과 슬로싱을 주도하는 큰 유동과 평균유동의 지연은 18도였으며 슬로싱이 발생하는 과정을 유동가시화 실험으로 검토하였다.

참고 문헌

- [1] T. Nasar, S.A. Sannasiraj, V. Sundar (2008), Experimental study of liquid sloshing dynamics in a barge carrying tank, Fluid Dynamics Research, Vol.40, pp.427-458
- [2] 한원희, 삼각형상 수중구조물 주위의 유동특성, 해양환경안전학회지, 제14권 제1호, pp.21-27