

사각탱크의 벽면에 설치된 배플 주위 비정상유동의 속도계측에 관한 연구

† 김광선 · 이철희* · 오우준* · 최민선** · 이경우**

† (주)STX 중공업 품질관리부, *목포해양대학교 대학원, **목포해양대학교 교수

요약 : 횡요동을 하는 13.5도의 모서리 경사각을 갖는 사각탱크 내에서 발생하는 유체의 슬로싱에 대해 비정상 현상 규명이 가능한 PIV기법을 적용하여 실험적으로 고찰하였다. 내부 액체의 유동현상을 계측한 결과, 0.6Hz와 1.2Hz의 주기를 갖는 실제 운동 상황을 묘사한 운동 중의 속도분포를 계측 할 수 있는 기술을 확보하였으며 바닥중앙에 설치된 배플 주위 유동장을 해석하였다.

핵심용어 : 사각탱크, 배플, 입자영상유속계, 비정상유동, 횡요동

1. 서론

용기 내에 액체가 외력에 의해 출렁거리는 현상을 슬로싱(sloshing)이라한다. 선박은 주기적으로 횡요동을 하게 되고 이는 탱크내의 유체에 슬로싱을 발생시킨다. 이때 탱크 내부에 있는 유체의 공진주파수와 가까워지면 슬로싱 현상은 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 유체 거동을 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다.

황(2006)은 복잡한 기하학적 구조를 가지는 LNG 운반선의 화물창에 대하여 축소모델을 만들어 벽면에 압력을 측정하고 슬로싱 현상의 해석방법을 제시하였다. 백과 서(2000)은 직선 왕복 운동을 하는 테이블 위에 놓인 직사각형 용기 내에서 발생하는 2차 유동의 특성을 실험적으로 고찰하고 수치해석 결과와 비교함으로써 용기내의 2차 유동은 자유표면의 조건 및 거동과 밀접한 관계가 있음을 보였다. 특히 순수한 물에 계면활성제가 미량으로 혼합된 액체가 왕복운동하는 경우에 용기내 액체의 정상유동은 주 보텍스, 코너 보텍스, 바닥 보텍스로 구성됨을 보였다. 그리고 대부분의 유동패턴은 주 보텍스에 의해 지배되며 바닥 보텍스의 영향은 수심이 낮을수록 커짐을 보고하였다.

슬로싱의 비정상 비선형에 의하여 발생하는 메커니즘이 명확히 규명되지 않은 실정으로 유체 거동을 파악하기 위해서는 시간에 따른 유동장의 속도 및 압력분포를 정량적으로 계측할 수 있어야 한다.(Nasar, et., al, 2008)

이 연구에서는 비정상 현상 규명이 가능한 PIV기법을 적용하

여 횡요동 운동을 하는 탱크 내에서 자유표면을 갖는 유체의 슬로싱에 대해 실험적으로 연구하였다. 내부 액체의 유동현상을 계측한 결과, 탱크 내부에 설치된 배플주위의 비정상 유동에 따른 속도분포를 계측 할 수 있는 기술을 확보하였다. 계측된 속도분포에서 벽면에 설치된 배플 주위에서 발생하는 바닥 보텍스의 지연은 슬로싱을 주도하는 큰 유동을 기준하여 약 70로 나타났다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 PIV실험장치의 배치도를 나타낸다. 계측시스템은 고속카메라, 레이저 및 계측소프트웨어(CACTUS 3.1)가 탑재된 호스트 컴퓨터로 구성되어있으며, 모델은 실제크기의 약 1/70이다. 이 탱크는 슬로싱을 발생시키기 위하여 탱크의 바닥 중앙부분에 주기적 횡요동이 가능하도록 운동발생장치를 설치하였다. 탱크 내부의 액체의 충진율과 주기는 각각 70%와 1.2Hz이며 탱크모델에 발생하는 슬로싱 현상에 대해 PIV실험을 하였다.(한원희, 2008)원회,영역은 195mm x 35mm의 크기이며 모델탱크의 가로 중앙 단면이다. 유동가시화를 위한 카메라의 설치는 횡요동 발생장치의 중심축에 연동되도록 설치하였다. 이 경우 탱크의 카메라는 횡요동을 하는 탱크와 동일한 각도로 회전하게 되고 촬영 각도는 일정하게 유지 된다. 따라서 촬영된 영상에서 벽면은 항상 고정된 상태로 유지되고 내부 유체의 유동상태의 변화만이 기록된 영상에 나타나게 된다.

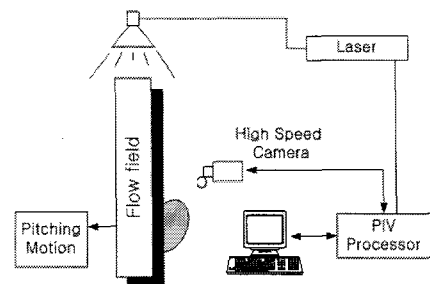


Fig. 1 PIV Experiment Setup

* 교신저자 (정희원), kskim@mmu.ac.kr 061)240-7200

* 정희원, lovekensin@mmu.ac.kr 061)240-7200

* 정희원, woojunoh@mmu.ac.kr 061)240-7300

** 정희원, cmscms@mmu.ac.kr 061)240-7217

** 종신회원, kwlee@mmu.ac.kr 061)240-7307

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

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 선박 밸러스트탱크를 모델링 하여 제작한 모델내부의 유체유동을 고속카메라로 촬영한 결과이며 시간간격은 1/30초이다. 실제 운항시 내부유체는 슬로싱에 의하여 탱크내부에 설치된 구조물에 유체동하중을 주게 된다. 사진에서 서클로 표시된 부분은 탱크가 횡요동을 할 때 배플에 의해 발생하는 와류가 형성되는 부분이다. 슬로싱은 상부의 자유표면이 움직이면서 내부의 유동을 발생시키며 그림에서는 우측으로 진행하여 반대편의 벽에 부딪혀 유동방향이 바뀌게 된다. Fig. 2(a)에서 사각으로 표시된 부분은 바닥에 설치된 배플이며 원형으로 표시된 부분은 배플주위에 발생된 와류이다. 주기는 1.2Hz이며 지연각은 약 70도로 추정된다.

Fig. 3은 PIV기법으로 계측한 속도벡터 분포로서 (a)는 0.6Hz의 주기로 흐름방향이 좌측에서 우측으로 진행되는 경우이고 (b)는 반대의 경우이다. 주기는 Fig. 3(a)보다 2배로 증가한 1.2Hz의 경우이다. 속도는 배플 상부가 가장 빠르게 나타났으며 하사점으로부터 상승하는 경우 시간진행에 따라 속도가 증가하였다가 수평이후부터 지연시간을 갖고 감소하게 된다. 횡요동의 주기가 빨라질수록 지연시간을 초과하지 않는 범위 내에서 내부의 유동속도도 크게 나타나게 된다.

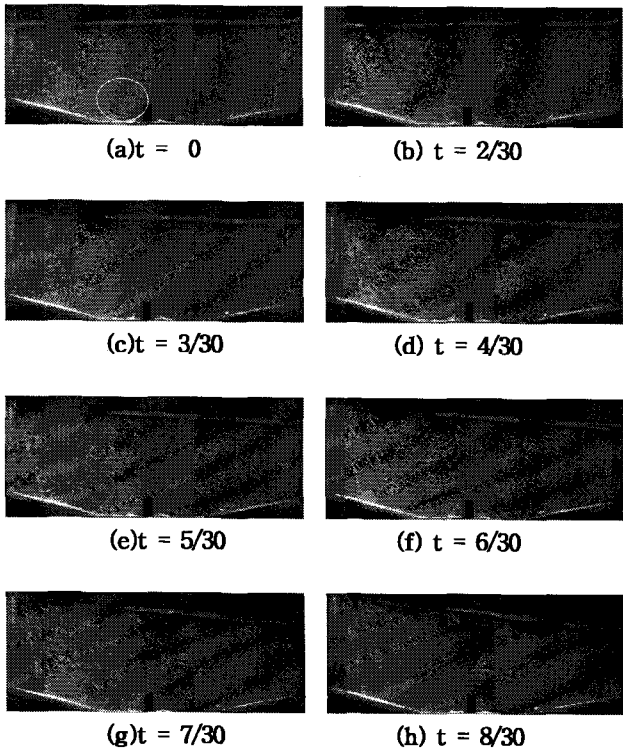
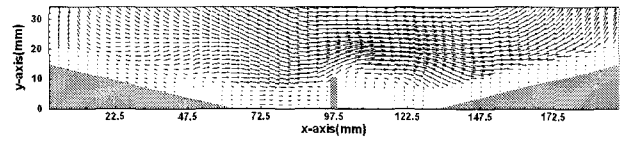
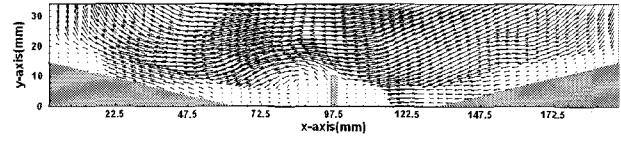


Fig.2 Variation of the water height under rolling motion translational excitation with 1.2Hz

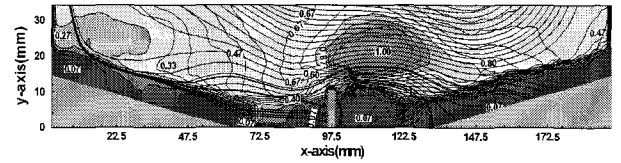


(a) 0.6 Hz

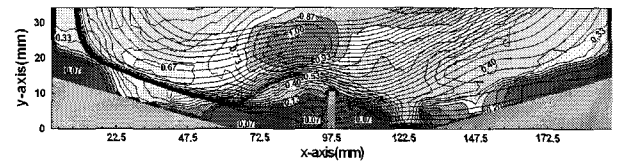


(b) 1.2 Hz

Fig. 3 Velocity vectors in flow field



(a) 0.6 Hz



(b) 1.2Hz

Fig. 4 variation of equi-velocity distribution

Fig. 4 탱크내 경계층의 형성과 바닥의 각도의 영향을 분석하기 위해 유도장내 등속도분포를 도시한 것이다. 경계층의 형성은 횡요동 주기에 관계되며 바닥의 각도는 내부 유체의 이동에 따른 유체력이 작용하는 방향과 밀접한 연관이 있다.

4. 결론

이 연구에서는 횡요동을 하는 사각탱크 내에서 자유표면을 갖는 유체의 슬로싱에 대해 PIV기법을 적용하여 고찰한 결과 슬로싱을 주도하는 큰 유동에 의한 바닥보텍스의 지연은 약 70도였으며 슬로싱이 발생하는 과정을 유동가시화 실험으로 검토하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

- [1] 한원희, 삼각형상 수중구조물 주위의 유동특성, 해양환경안전학회지, 제14권 제1호, pp.21-27
- [2] 황성현(2006), 실험과 수치해석적 접근에 의한 슬로싱 충격하중 해석, 부산대학교 대학원, 석사학위논문
- [3] 백진수, 서용권(2000), 자유표면의 거동을 동반하는 직사각형 용기내의 정상유동, 동아대학교 해양자원연구소 연구논문집, 제 13권, pp. 29-36