

## 유체-구조 유탄성 연성운동 측정해석

도덕희<sup>+</sup>·조효제<sup>++</sup>·황태규<sup>+++</sup>·조경래<sup>++++</sup>·편용범<sup>++++</sup>·조용범<sup>++++</sup>

### Measurements and Analysis on Hydroelastic Flow-Structure Interactions

Doh, D.H.<sup>+</sup>, Jo, H.J.<sup>++</sup>, Hwang, T.G.<sup>+++</sup>, Cho, K.R.<sup>++++</sup>, Pyeon, Y.B.<sup>++++</sup> and Cho, Y.B.<sup>++++</sup>

**Abstract** : Experimental analyses on the Hydroelastic Flow-Structure Interactions on pulsed impinged jet is measured with the FSIMS(Flow-Structure Interaction Measurement System. The nozzle diameter is D=15mm and two major experiments have been carried out for the cases of the distance between the nozzle tip to the elastic wall is 6.0. The pulsed jets were controlled by a solenoid valve and were impinged onto an elastic plate (material: silicon, diameter: 350mm, thickness: 0.5mm, hardness: 15). The Reynolds numbers were 20,000 and 24,000 when the jets were impinged with the volume velocities. The results showed that the elastic plate moved slightly to the opposite direction of the jet direction at the time of valve opening. It has been shown that the vortices travelling over the surface of the wall made the elastic wall distorted locally due to a vector forces between rotating forces of the vortex and a newly-incoming flow.

**Key words** : Hydroelastic Flow-Structure Interactions(유탄성 유체-구조 연성운동), Four(or Three) Camera System(4대 혹은 3대 카메라시스템), Pulsed Impinged Jet(돌발분류)

### 1. 서론

최근, LNG선박의 펌프타워, 화물창내의 슬로싱에 의한 화물창벽과 LNG액화가스와의 유체-구조 연성운동문제가 화두로 되어 있다. 연동운동에는 강성(solid) 연성운동과 유탄성(hydroelastic) 연성운동이 있다. 강성 연성운동의 대표적 사례는 부유체 해양구조물을 들 수 있다. 지금까지는 유체유동을 비점성 운동으로 보고 일양(homogeneous)의 힘으로 보아 구조물에 미치는 힘을 산정하여 계산하는 방식으로 구조물의 운동을 실험적 및 해석적으로 예측해 왔으나 엄밀하게 해석하기 위해서는 유체의 비점성 운동에 따른 구조물 주위에 발생하는 와(vortices)의 영향을 고려하여야 한다.

컴퓨터 성능향상에 힘입어 수치적 해석방법에 의한 유체-구조물 연성문제를 다루는 연구가 점차 늘어나고 있는 추세에 있지만 이들 결과들을 뒷받침 해주는 실험계측방법은 유체의 운동과 구조물의 운동을 각각 독립적으로 측정하는 것이어서 이들 측정결과들로부터 유체-고체의 연성운동을 도출해 내기란 용이하지 않다.

본 연구에서는 Doh 등<sup>[1]</sup>이 개발한 유체-구조 연성운동측정시스템을(FSIMS) 이용하여 LNG선박 화물창 내의 유탄성 현상에 대한 정량적 고찰을 위한 기초연구를 수행하고자 하는 것을 목표로 삼고 있다.

### 2. 측정시스템

#### 2.1 실험절차 및 방법

Fig. 1은 도 등<sup>[1]</sup>이 개발한 유체-구조 연성운동 측정시스템의 구성을 나타낸다. 측정시스템은 4 대의 카메라, 두 대의

이미지 그레버 및 컴퓨터로 구성된다. 2대의 카메라(camera 1, camera 2)는 구조물의 주변 3차원 속도장을 측정하는데 사용되고 2대의 카메라(camera 3, camera 4)는 부유체 실린더 구조물의 운동측정에 사용되는데 이들의 영상은 모두 동일 시각으로 이미지 그레버를 통하여 컴퓨터로 입력된다. 3차원 측정을 위해서는 각 2대 카메라 組들의 물리좌표계(절대좌표계)에 대한 교정작업(calibrations)이 필요하다. 이 작업에서는 既知의 3차원 위치정보를 가진 교정기를 카메라를 향하여 측정 영역에 설치한 다음, 카메라에 비친 기준점들의 사진좌표와 실제 이들 기준점들의 실제 3차원 좌표를 이용하여 삼각측량의 원리에 의거 카메라의 내부 및 외부파라미터(parameters)가 구해진다. 즉, 물리좌표계에 대한 카메라의 사진좌표계의 상관관계가 구해지게 된다. 각 2대 카메라 組의 카메라파라미터가 구해지면 유전알고리즘 기반의 3차원 입자 영상유속계<sup>[2]</sup>와 양방향탐색법<sup>[1]</sup>에 의거하여 유체유동장의 3차원 속도벡터분포와 구조물의 3차원 운동을 계산한다. 3차원 속도벡터분포는 유동가시화를 위하여 유동장에 투입된 유체와 동일비중의 미소추적입자들의 3차원 위치의 이동량을 계산함으로써 구해진다. 이 때, 3차원 위치는 카메라들의 물리좌표계에 대한 카메라사진좌표계와의 관계인 카메라파라미터와 2대 카메라의 사진좌표(유체유동장에 자유로이 떠다니는 미소추적입자의 카메라1과 카메라2에 비친 영상좌표)를 이용하여 후술의 삼각측량 계산원리에 의거하여 구해진다. 한편, 구조물의 3차원 운동은 카메라파라미터(camera 3 & camera 4)와 구조물에 설치된 표적물(4개)에 대한 이들 카메라의 사진좌표(2組)를 이용하여 후술의 동일 계산원리에 의거하여 표적물의 3차원 이동량을 계산함으로써 구해지게 된다.

+ 도덕희(한국해양대학교 기계정보공학부), E-mail: doh@mail.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4364  
++ 조효제, 한국해양대학교 선박해양시스템공학부  
+++ 황태규, Univ. of Tennessee, Mechanical, Aerospace and Biomedical Eng. Dept., U.S.A.  
++++ 조경래, (주)티엔텍  
++++ 편용범, (주)티엔텍  
++++ 조용범, (주)티엔텍

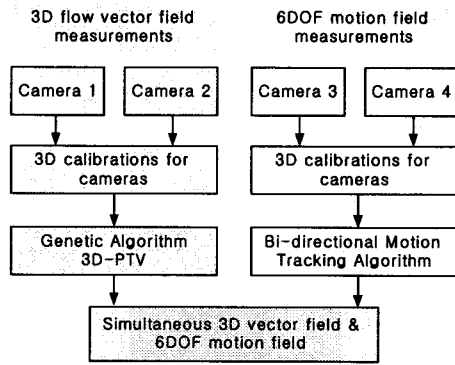


Fig. 1 Measurement system and procedure

### 3. 측정해석 결과

Fig. 2는 밸브의 개방 시간을 1초로 하였을 때의 탄성판 중심부  $z/D$ 방향 운동의 시간이력을 나타낸다. 그림에서 T1~T7는 카메라의 기록속도를 1/250Hz로 하였을 때 기록개시로부터 각각 1(T1) 프레임(frame)째, 39(T2), 175(T3), 210(T4), 256(T5), 347(T6), 374(T7)프레임 짝의 영상에 해당된다. 374 프레임은 밸브를 폐쇄한 시각 250 프레임으로부터 0.49초에 해당된다. 밸브가 닫힌 이후에도 여전히 운동이 보이는 것은 돌발분류에 의한 주위 유동의 가속에 기인한 것으로 나타났다. 밸브개방시기(T1)이후, T2에서 탄성판이 약간 아래로 내려감이 보인다. 이는 밸브의 개방과 동시에 증가된 유량과 이 유량에 의하여 합입된(entrained) 유량증분만큼 탄성판 하부바깥쪽으로 빠져나감으로 인하여 탄성판 중심부에 부압형성으로 탄성판이 아래로 운동함이 나타났다. 즉, 증가된 유량에 의한 수직력은 탄성판의 변형을 일으킬 정도로 힘이 발생되지 않고 대신 탄성판 중심부에 있던 유체가 밀려나가는 힘에 의하여 그 곳에 부압이 발생하는 것으로 나타났다. T2에서 T7까지에는 고주파성분이 많이 포함되어 있었다. 이는 노즐과 탄성판 간의 거리가 멀수록 발생하는 와들의 복잡성으로 인하여 탄성판 충돌중심부에 고주파 운동을 보이게 되는 것과 상통한다. Fig. 3은 T1~T7사이에서의 탄성판 중심 단면상에서의 프로파일을 나타낸다. T1에서는 탄성판이 평면을 보이다가 전술한 바와 같이 T2일 때(즉, 유동이 분출된 순간에) 탄성판의 중심부가 약간 아래로 변형되고 있음이 보인다.  $r/D > 4.0$ 의 영역에서는  $r/D < 4.0$ 에서의 영역에서 보다 탄성판의 변형량이 급격하게 적은 종모양(bell shape)으로 됨을 알 수 있다.

### 4. 결론

밸브의 개방시 탄성판은 분류와 반대 방향으로 운동하였다. 이는 개방과 동시에 탄성판 중심부에 부압이 형성됨을 의미한다. 탄성판과 분류노즐 간의 거리가 멀수록 탄성판의 운동 양상은 고주파성분을 많이 띠고 있었다. 이는 노즐과 탄성판 간의 거리가 멀수록 발생하는 와들의 복잡성으로 인하여 탄성판 충돌중심부에 고주파 운동을 보이게 됨을 의미한다. 탄성판은 변형이 적은 영역 ( $r/D = 4.0$ )을 기점으로 종모양(bell shape)의 변형을 나타내었다. 탄성벽면을 따라 하류로 이동하는 와(travelling vortices)는 탄성판이  $r/D=4.0$ 의 위치

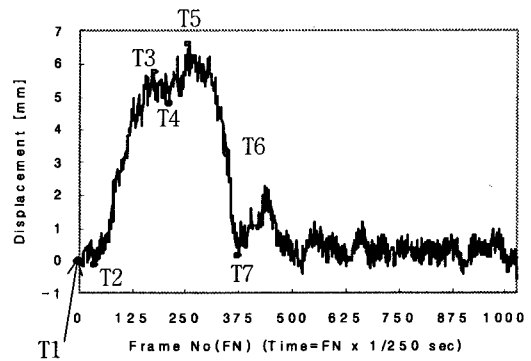


Fig. 2 Displacements of the center point of the elastic plate to normal direction( $z/D=6.0$ )

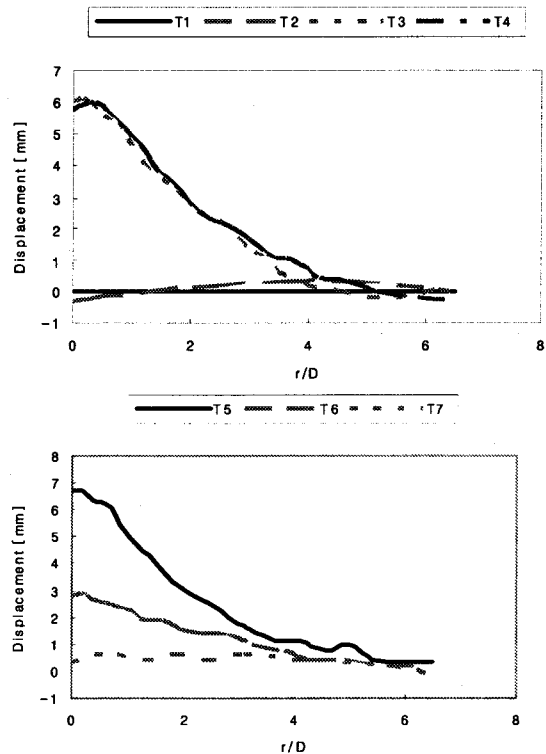


Fig. 3 Temporal changes of the plate's profiles at T1 to T7

근방에서 그 이동속도의 저하와 함께 시계방향의 회전력이 증가하였으며 새롭게 유입된 유동의 교합(交合)에 의하여 탄성판을 부딪치는 힘을 유발하였는데 이는 전형적인 유탄성 현상에 해당한다.

### 참고문헌

- [1] Doh D.H., Jo H.J., Sang, J.W., Hwang T.G., Cho, Y.B., Pyeon Y.B., "A Study on Developments of Three-dimensional Measurement System for Flow-Structure Interactions, J. Korean Society of Ocean Eng, Vol.18, No.4, pp.1-7, 2004.
- [2] Doh, D.H., Cho, K., Cho, Y., Saga, T., Kobayashi, T., "Development of GA based 3D-PTV Technique", J. of Visualization, Vol.5, No.3, pp.243-254, 2002.