

# 중량 및 높이변화에 따른 썰기형 구조물 주위의 슬래밍 충격에 관한 실험적 연구

† 오승진 · 조대환\*

† 목포해양대학교 실습선 새누리호, \* 목포해양대학교 기관공학부 교수

## An Experimental Study on the Slamming impact around Wedged type structure in accordance with the Weight and Height of the change

† Seung-Jin Oh · Dae-Hawn Jo\*

† Saenuri, Training Ship, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

\* Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약** : 슬래밍은 선체가 파도와 부딪히며 선수, 선미에서 강한 충격압력을 받아 급격한 진동이 발생하는 현상이다. 이러한 슬래밍은 사람에게는 승선감의 불편감을 주고, 선체에는 구조적인 위험을 주며 화물의 안전과도 깊은 관계가 있다. 따라서 선박 설계기준에는 슬래밍에 의한 충격압력을 충분히 고려한 구조설계를 해야 한다. 본 연구에서는 자유낙하 하는 썰기형 구조물의 중량 및 낙하높이의 변화에 따른 슬래밍 충격압력 및 유동장의 유동특성을 알아보고자 실험을 수행하였다. 유동장의 계측은 2-프레임 그레이레벨 상호상관 PIV기법을 이용해 접수와 이수로 구분하여 실험하였으며, 충격압력의 계측은 압력계측장비인 Dewetron System을 이용하였다. 실험에서 모델과 자유수면간 이루는 각도는 15°를 적용하였으며 이때, 중량의 변화는 1.5, 1.8 및 2.0kg이고 자유낙하높이는 100, 200 및 300mm로 하여 실험하였다. 실험값을 통한 중량의 변화에 따른 충격압력은 중량의 증가하는 것에 비례하여 충격압력 또한 증가했으며, 이러한 경향은 자유낙하 높이가 높을수록 영향을 많이 받았다.

**핵심용어** : 슬래밍, 충격압력, 자유낙하, 유동장, 접수, 이수, 자유수면

**ABSTRACT** : Slamming means that the hull hits the waves and receives impact pressure. This slamming effect may cause harm to people and when you put the hull at risk, so it is very harmful for cargo safety. Therefore slamming impact pressure should be fully considered in ship designing. In this study the model of wedged type structure are produced aimed to simulate a free fall that the experiments were carried out on different weight and free fall height. The flow field has been obtained by 2-frame grey level cross correlation PIV(Particle Image Velocimetry) method and experiment was divided into water entry and water exit. The impact pressure of free fall structure by a pressure acquisition system apply to dewetron system. The angles between a model and the water surface are adapted 15° respectively. The weight change of models was given as 1.5, 1.8 and 2.0kg. To study slamming phenomenon for free fall height the experiments were carried out by the free fall height of 100, 200 and 300mm. The experimental value of the impact pressure according to the changes in weight was increase impact pressure in proportion to the increase in weight and higher free falling height has also influenced the increase in impact pressures.

**KEY WORDS** : Slamming, Impact pressure, Free fall, Flow field, Water entry, Water exit, Water surface

### 1. 서 론

선박과 해양구조물은 파도를 받으면서 동요하게 되며 선체 및 구조물에 충격을 가한다. 또한, 유동적인 선체충격에 대해서 구조물 및 화물 그리고 인명에 대한 안정성이 중요시 되고 있다. 이처럼 유동적인 선체충격으로 승객에게는 불편한 승선 감을 초래하고 멀미 등의 원인이 되며 구조물과 화물도 충격으로 크랙이나 박리 등으로 인한 파손 등의 위험이

있다. 특히, 최근에는 고속, 대형화가 되어가는 추세이므로 유동적인 선체충격에 대한 안전성을 더욱 중요시 되고 있다. 이처럼 선체나 해양구조물의 하부가 파도에 의해 수면과의 충격으로 발생하는 슬래밍(slamming) 현상은 충격력으로 압력 변화 및 구조물 변형을 야기함으로써 인하여 중요한 연구의 대상이 된다고 Park et al.(1999)은 발표한 바가 있다. 이러한 슬래밍 현상으로 발생하는 충격압력(impact pressure)은 중력식 라이프보트의 구조기준 및 레저보트 활주 시 수면과 충

† Corresponding author : plus1850@mmu.ac.kr 061)240-7461

\* 중신회원, dhcho@mmu.ac.kr 061)240-7217

격압력에 대한 안전기준 등과 관련해서 지속적인 연구가 이루어지고 있다(Lee et al, 2010; Manganelli et al, 2003). 슬래밍 현상의 실험적 연구로는 Baker(1920), von Karman(1929)에 의해서 해상 비행기의 낙하 시 작용하는 압력의 변화에 대한 선구적인 연구가 수행되었다. 또한, Kang et al.(2009)은 천수에서 박스형 구조물이 접수할 경우 나타나는 유동현상을 확인하였고 접수충격에 의해 모델의 바닥에서 접선방향의 흐름이 발생하며 정지상태의 유체에 모델이 접수(water entry) 시 위쪽으로 상승하는 천수와의 메커니즘을 파악하였다. 실선에서의 슬래밍 압력에 대한 연구로는 Lee et al.(2007)이 북태평양과 인도양을 항해하는 대형 컨테이너선의 선수 플레어 슬래밍 압력 측정자료를 토대로 선수 슬래밍 압력의 최대 압력 도달시간에 대한 분석결과를 제시하였다. 수치해석에 의한 연구로는 Park et al.(2000)이 파랑 중에서 슬래밍 충격에 대한 동적 탄성응답 해석법을 개발하여 검증에 의해 V형 단면 선박과 선형 모델을 대상으로 수치해석을 수행하여 비교분석 결과를 제시하였다. 슬래밍 현상은 구조물과 파랑의 상대운동에 따라 복잡한 유체력을 갖기 때문에 거동특성 파악이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 자유수면(water surface)과 접하는 썰기형 모델의 입수각도가 15°인 모델을 대상으로 모델의 중량(1.5kg, 1.8kg 및 2.0kg)과 자유낙하높이(100mm, 200mm 및 300mm)의 변화를 기반으로 모델을 자유낙하(free fall) 시켜 충격압력을 실험을 통해 분석하였다. 또한, 충격압력의 결과를 기초로 충격압력으로 형성되는 유동장(flow field)의 순간속도분포 특성을 고찰하여 압력발생에 따른 유동장을 연구함으로써 서로의 상관관계를 알아보고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 조건

본 실험에 사용된 모델의 형상을 도시한 그림은 Fig.1과 같다. 모델은 투명 아크릴로 폭(318mm), 높이(118mm), 길이(300mm)의 재원으로 제작되었으며, 충격압력의 획득은 모형의 길이방향 끝단 모서리로부터 50mm 간격으로 중앙으로부터 P1, P2, P3 및 P4의 센서를 설치하여 자유낙하 시 충격압력을 측정할 수 있도록 하였으며, 모델의 자유낙하실험은 1,000mm x 1,000mm x 1,500mm의 수조에서 실험을 실시하여 충격압력 및 유동장을 획득하였다.

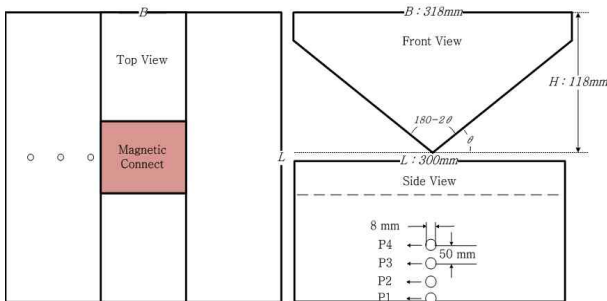


Fig. 1 Schematic configuration of the model

Table 1은 실험에 사용된 조건을 나타내고 있다. 입수각도 θ는 15°의 모형을 채택하였으며, 모델의 자유낙하 높이는 100mm, 200mm 및 300mm에서 수행하였고 이때 모델의 중량은 1.5kg, 1.8kg 및 2.0kg의 변화를 주었다. 실험에서 자유낙하 시 모델이 흔들리지 않고 정확한 입수각도로 수면에 낙하하도록 레일을 설치하는 방법을 사용하지 않고 평균 10회 이상의 자유낙하 실험을 하면서 고속카메라로 촬영한 후 영상을 확인하여 이때 정확히 수직으로 낙하한 실험결과에 데이터를 결과 값으로 분석하였다. Table 2는 압력 측정장비의 제원으로서 초당 10,000개의 샘플링이 가능하며 압력은 5bar까지 측정이 가능하며 압력센서에서 획득한 데이터는 변환기를 통하여 출력 시 전압차를 시계열로 획득할 수 있다.

Table 1 Experimental conditions

|                       |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| Model Wedge Angle (°) | 15  |     |     |
| Model Weight (kg)     | 1.5 | 1.8 | 2.0 |
| Free Fall Height (mm) | 100 | 200 | 300 |

Table 2 Pressure acquisition system specification

|                |      |                                     |
|----------------|------|-------------------------------------|
| Items          | Unit | Value                               |
| Sampling Freq. | kHz  | 10                                  |
| Output         | Volt | ± 5                                 |
| Max. Deviation | mmV  | ± 2 (± 0.00015kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| Resolution     | μV   | 40 (0.000003kgf/cm <sup>2</sup> )   |

Fig.2는 슬래밍 실험에서 유동정보 측정을 위해 적용한 P.I.V시스템의 개략적인 구성도를 나타내고 있으며 P.I.V시스템에 관해서는 Lee and Cho(2000)에 의해 자세히 설명되어 있다. 유동장 해석 실험과 충격압력의 실험은 동일한 조건으로 하였으며, 투명한 수조에서 수행한 실험조건과 해석영역은 Fig. 3과 같다. 또한, 유동장 실험에서 사용한 광원은 직진성과 반사성이 우수한 500mW의 광다이오드를 집적화한 2차원 광원을 측정영역에 조사하여 수행하였으며, 해상도는 초당 125프레임으로 촬영하여 유동정보를 측정하였고 유동장 측정을 위한 실험조건은 Table 3과 같다.

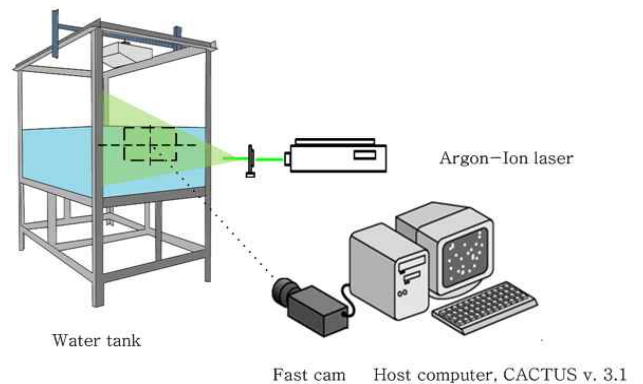


Fig. 2 Schematic arrangement of P.I.V. system

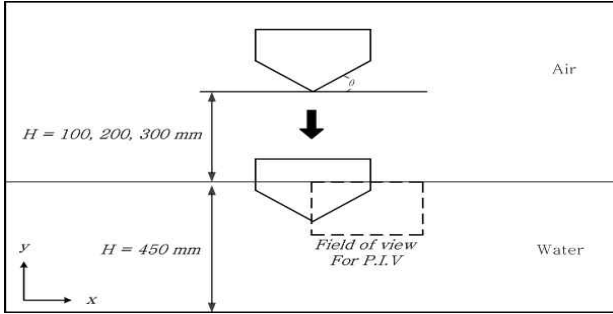


Fig. 3 Schematic view of the trimming model and interpretation area

Table 3 Experimental condition for PIV System

| Item             | Specification                                |
|------------------|--|
| Light source     | SLOC Lasers (GL532H-500mW)                   |
| Sheet light      | Cylindrical lens (Width=2mm)                 |
| Working fluid    | Fresh water (17±1 °C)                        |
| Time resolution  | 125 FPS                                      |
| Particle         | PVC ( $\rho : 1.02, \phi : 150\mu\text{m}$ ) |
| Image resolution | 1,280×1,024                                  |

### 3. 실험결과 및 고찰

중량 및 자유낙하높이의 변화로 발생하는 슬래밍 현상으로 인해 구조물에 미치는 영향을 연구하기 위해 슬래밍 현상의 재현실험을 통해 획득한 충격압력은 Fig.4 ~ Fig.6에 나타나 있다. 수면과 접하는 각도가 15°인 췌기형 모델의 중량은 2.0kg이며, 자유낙하높이가 100mm에서 100mm씩 변화했을 때 나타난 충격압력을 측정된 압력 데이터를 기초로 정리하여 나타내었다. 시간변화에 따른 압력변화를 시계열로 나타낸 그림이며, 곡선의 경향은 자유낙하 후 미세한 압력의 변화를 보이다가 수면과 충돌한 후 급격한 압력변화를 보이고 있다. 수면과 제일 먼저 충돌하는 P-1에서의 측정결과가 급격한 기울기로 상승하는 곡선을 보이고 P-2, P-3 및 P-4의 순서로 같은 경향의 곡선으로 압력이 급격히 상승함을 보인다. 급격히 상승한 압력은 최고기점을 기준으로 압력하강이 크게 나타나며, 이러한 경향은 모형이 자유낙하 하여 수면과 충돌하는 입수의 시기부터 수면 아래방향으로 진행하다가 힘이 다하여 물속에서 정지하는 순간까지 최고압력을 나타냈다. 모형이 자유낙하 하여 0.1초를 기준으로 압력이 급격히 상승하면서 구조물과 자유수면 사이에 충돌로 인한 제트류가 형성되기 시작하며 자유낙하 후 0.3초를 전, 후로 제트류가 정상화됨을 알 수 있다. 입수가 종료되고 모형이 부력에 의해 떠오르는 이수과정에서 압력이 급격히 낮아지며, 이수의 마지막 과정에서는 음의 압력 측정결과를 나타내는 경우도 볼 수 있다. 입수 후 시간이 경과 할수록 충격력의 공간분포가 완만해지는 경향을 나타내며, 이는 Yum et al.(2008))이 제안한 것과 일치함을 보인다.

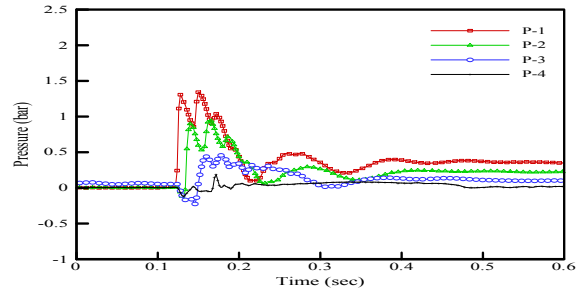


Fig. 4 Time histories of pressure at 100mm-2.0kg

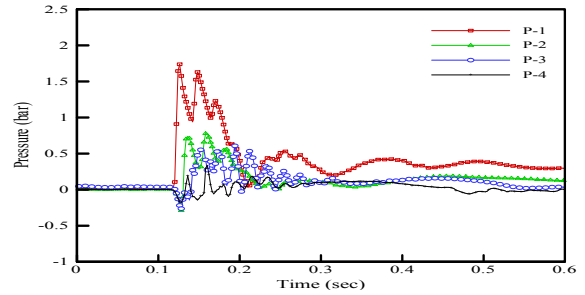


Fig. 5 Time histories of pressure at 200mm-2.0kg

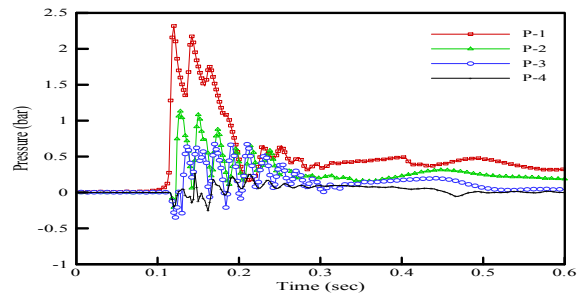


Fig. 6 Time histories of pressure at 300mm-2.0kg

Fig.7 ~ Fig.9는 15°의 췌기형 모델을 대상으로 자유낙하높이가 같을 때 중량의 변화에 따른 최고압력분포에 관하여 비교하기 위해 각각의 중량을 1.5kg, 1.8kg 및 2.0kg으로 하였을 때 나타난 압력을 정리하여 나타냈으며, 자유낙하높이가 100mm, 200mm 및 300mm일 때 중량의 변화에 따른 압력분포특성을 나타낸 그림이다. 자유낙하높이가 100mm일 때 중량변화에 따른 압력은 모형의 P-1위치에서 가장 높게 나타났으며, 모형의 상부로 갈수록 압력이 낮게 나타나고 있다. 또한, 중량의 변화에 따라 약간의 압력차를 보이고 있고 P-1에서는 중량이 증가함에 따라 오히려 압력이 감소함을 보인다. 모형의 상부에 나타난 P-2, P-3 및 P-4에서는 중량이 1.5kg일 때 압력분포가 가장 낮게 형성되었고, 1.8kg에서 가장 높게 나타났다.

자유낙하높이가 200mm인 실험에서 나타난 압력분포는 1.8kg의 중량을 갖는 모형에서 가장 높은 압력분포의 결과를 나타냈으며 특히, 1.5kg의 모형에서는 P-4에서의 압력이 P-3에서의 압력 보다 높게 나타나고 있다. 이러한 이유는 구조물이 수면과 접촉할 때 형성되는 에어포켓의 영향으로 사료된다. 자유낙하높이가 제일 큰 300mm에서는 압력분포가 가

장 크게 나타났으며 P-1과 P-2사이의 압력차가 크게 나타나고 있다.

이처럼 중량의 변화에 따른 슬래밍 현상을 살펴보면 중량의 변화에 따른 압력의 변화는 그다지 크게 나타나지 않지만, 수면과 모델이 접촉하는 모델의 위치에 따라서 충격압력이 일반적인 압력변화와 다르게 나타나고 있다. 따라서 선박 및 구조물의 설계에서 요구되는 강판의 두께와 형상을 결정할 때 수면과 접촉하는 구조물의 위치에 따라 다르게 나타나는 충격압력에 대해 고려해야한다.

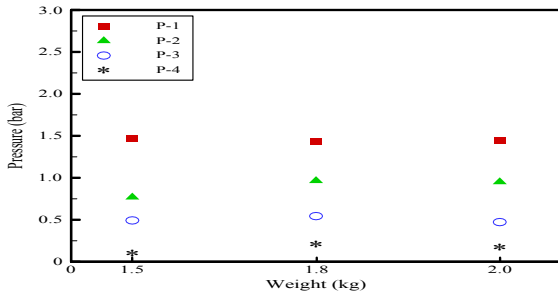


Fig. 7 Pressure distribution for weight at 100mm

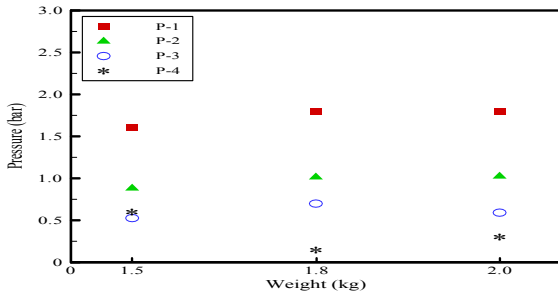


Fig. 8 Pressure distribution for weight at 200mm

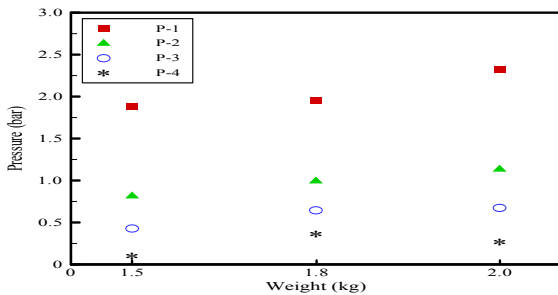


Fig. 9 Pressure distribution for weight at 300mm

Fig.10 ~ Fig.12는 같은 중량에서 자유낙하높이의 변화에 따른 충격압력을 분석한 그림이다. 슬래밍 현상이 발생될 때 파고의 높이변화에 따라 구조물에 가해지는 압력의 변화를 알아보기 위해 자유낙하높이의 변화를 주어 슬래밍 실험을 재현했다. 모형과 수면이 제일 먼저 접촉하는 P-1의 위치에서 모형의 다른 위치보다 가장 높은 압력값이 나타났으며, 2.0kg의 중량을 갖는 모형을 300mm에서 자유낙하 시켰을 때 가장 높게 나타났고 가장 낮은 압력의 결과는 1.8kg의 중량의 모형을 100mm에서 자유낙하 시켰을 때 나타났으며 압

력감소율은 약 61.8%로 나타났다. 대체적으로 자유낙하높이가 높고 중량이 무거울수록 충격압력이 높게 나타났지만 P-3의 위치에서는 1.5kg의 모형을 300mm에서 자유낙하 시킨 실험에서 가장 낮은 압력의 결과를 나타냈다. P-4의 위치에서는 1.8kg의 모형을 300mm의 높이에서 자유낙하 시켰을 때 가장 높은 압력결과를 나타냈다. 이는 슬래밍 현상에서 자유낙하높이가 높을수록 충격압력이 높게 나타나지만 구조물의 중량과도 관계가 있으며 특히, 자유수면과 썰기형구조물이 접촉할 때 구조물이 접촉하는 위치에 따라 이러한 규칙이 다르게 나타남을 알 수 있다.

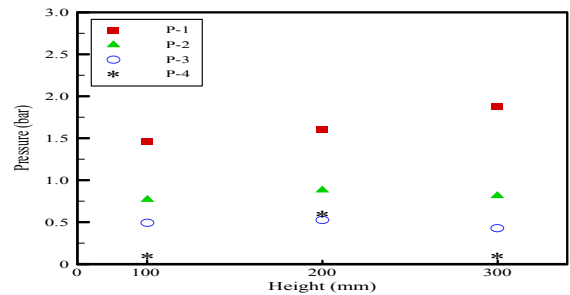


Fig. 10 Pressure distribution for drop height at 1.5kg

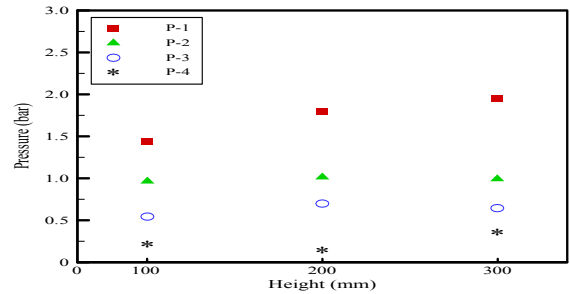


Fig. 11 Pressure distribution for drop height at 1.8kg

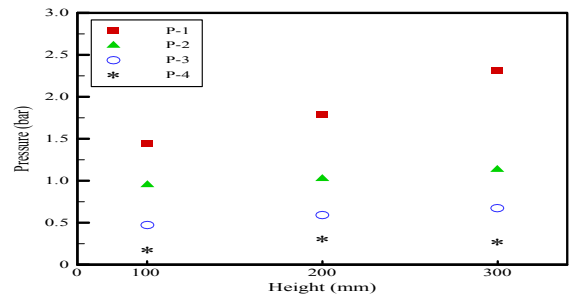


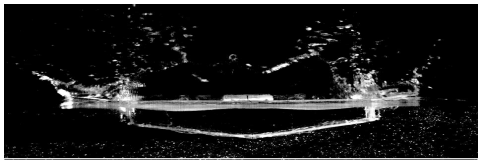
Fig. 12 Pressure distribution for drop height at 2.0kg

슬래밍 현상의 재현실험을 통해 구조물의 중량과 자유낙하높이의 변화에 따른 충격압력은 썰기형 구조물의 중량변화에는 큰 영향이 없지만, 구조물과 자유 수면이 접하는 위치에 따라 영향이 있음을 알 수 있었고 자유낙하높이가 높을수록 충격압력 또한 높게 나타나지만 구조물이 수면과 접촉하는 위치에 따라 이러한 규칙이 다르게 나타남을 알 수 있었

다. 이를 바탕으로 이러한 원인을 분석하기 위해 유동특성을 조사하였으며, Fig. 13은 실험에서 유동 가시화를 위해 모형이 자유낙하 하여 수면에 충돌하는 순간과 충돌 후 수면 아래로 계속 진행하다가 물속으로 더 이상 진행하지 못하고 정지한 순간을 고속카메라로 촬영한 사진을 보여주고 있다.



(a) Contacted with water surface



(b) Stops at the water

Fig. 13 Image of impact at water entry

본 실험에서는 충격압력계측과 병행하여 고속카메라를 이용해 유동장을 조사하였으며, Fig. 14 ~ Fig. 15는 자유낙하 높이가 300mm일 때 모형의 중량변화에 따라 나타난 실험을 고속카메라로 획득한 영상을 P.I.V 해석 프로그램을 통해 속도성분을 벡터성분으로 나타낸 그림이다. 영상의 획득은 모형이 자유낙하 후 수면과 접촉했을 때부터 수면 아래로 진행하다 정지한 상태까지의 영상을 기초로 해석하였다.

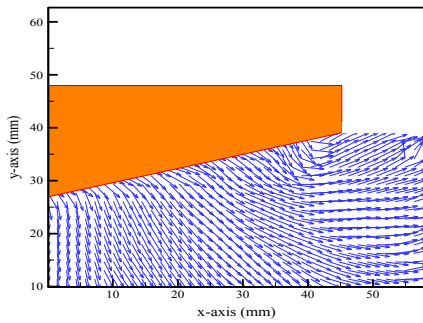


Fig. 14 Instantaneous velocity fields at 300mm-1.5kg

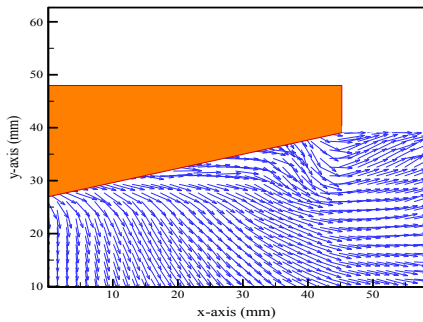


Fig. 15 Instantaneous velocity fields at 300mm-2.0kg

충격압력에서는 중량이 무거운 2.0kg의 모형실험에서 충격압력이 크게 발생했으며, 이러한 이유는 Fig. 14와 Fig. 15

에 나타나듯이 썰기바닥의 경사면부분에서는 수직방향으로 하강하는 유동이 형성되고, 썰기의 기울기에 비례하여 충격압력을 받으면서  $X = 40\text{mm}$  영역에서부터 수평축으로 이동하는 경향이 나타났고,  $X = 50\text{mm}$  영역의 수면에서는 상승하는 유동분포를 보이고 있다. 또한, 중량이 무거울수록 수평축으로 이동하는 성분이 경사면 모서리( $X = 46\text{mm}$ ,  $Y = 38\text{mm}$ )와 더 가까운 지점에서 발생하고 있다.

Fig. 16 ~ Fig. 17은 자유낙하높이가 300mm일 때 모형의 중량변화에 따른 수평방향속도성분에 대한 등분포도이다. 수평방향의 속도는 전체적으로 낮게 나타나고 있다. 또한, 수평방향속도성분이 높게 나타난 구역은 실험조건에 따라 다르지만 대체적으로 모형의 바닥면 근처에서 발생하며 중량이 증가할수록 분포범위가 넓다. 이는 입수에서 충격압력으로 발생하는 유동장에서 수평방향속도성분이 작으며 분포범위가 넓을수록 충격압력은 감소하였다.

$X = 45\text{mm}$  상부영역에서 나타난 수평방향속도성분은 모형이 입수해서 수조 바닥으로 향하면서 유동이 경사면에 비례해 밀려나는 유동이며, 모형 끝단의 수면부근에서 나타난 높은 수평속도성분은 속도벡터에서와 같이 모형이 수면에 충돌한 후 비산한 유체가 떨어지며 형성된 것이다. 썰기형 구조물의 중량이 작고 자유낙하 높이가 낮을수록 수평방향속도성분은 낮게 나타나고 있으며, 모형과 떨어질수록 유동의 영향에서 벗어났다.

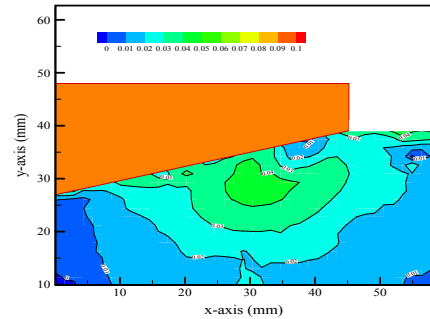


Fig. 16 Contour of u-velocity component at 300-1.5

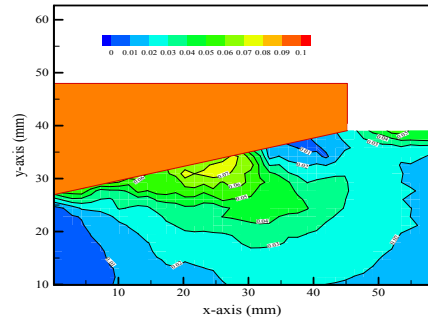


Fig. 17 Contour of u-velocity component at 300mm-2.0kg

Fig. 18과 Fig. 19는 이수 시에 발생하는 수직방향 성분에 대한 등분포도를 나타낸 것이다. Fig. 18은 1.5kg의 중량을

갖는 모델을 100mm에서 자유낙하 시킨 조건이며 Fig. 19는 중량과 자유낙하 높이가 가장 큰 실험조건에서 나타난 수직 방향 성분에 대한 등분포도이다. 이수에서는 양의 방향과 음의 방향의 분포가 접수와는 반대로 분포하고 있으며 충격압력이 높게 나타난 Fig. 19에서는 중량과 자유낙하높이가 적은 Fig. 18보다 모형과 근접한 부근에서 등분포도의 밀도가 높게 나타나 있으며, 전체적으로 접수보다 이수에서 높은 속도분포를 보였다.

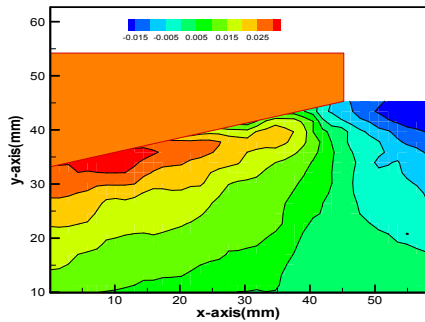


Fig. 18 Results of v-velocity fields at 100mm - 1.5kg

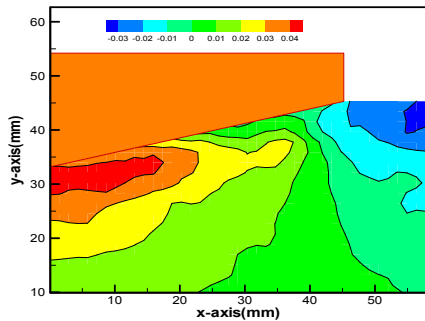


Fig. 19 Results of v-velocity fields at 300mm - 2.0kg

#### 4. 결론

슬래밍 현상의 기초연구로 자유수면과 접하는 쇄기형 모델의 입수각도가 15°인 모델을 대상으로 모델의 중량 변화는 1.5kg, 1.8kg 및 2.0kg으로 하였고, 자유낙하높이는 100mm, 200mm 및 300mm의 변화를 기반으로 모델을 자유낙하 시켜 충격압력 및 유동장의 순간속도분포 특성을 계측하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

중량의 변화에 따른 충격압력의 변화는 큰 차이로 나타나지 않지만, 수면과 접촉하는 모형의 위치에 따라 충격압력의 편차가 높게 나타나고 있다. 따라서 구조물의 설계에서 요구되는 강판의 두께와 형상의 결정에 고려해야한다.

자유낙하높이가 높을수록 충격압력이 높게 나타나지만 구조물의 중량과 관계가 있으며 모형의 다른 위치보다 가장 높은 압력값이 나타났으며, 실험에서 가장 높은 압력값의 결과와 가장 낮은 압력값의 압력감소율은 약 61.8%로 나타났다. 특히, 자유수면과 쇄기형구조물이 접촉할 때 구조물이 접촉하

는 위치에 따라 이러한 규칙이 다르게 나타남을 알 수 있다. 중량이 가볍고 자유낙하 높이가 낮을수록 수평방향속도 성분은 낮게 나타나고 있으며, 모형과 멀어질수록 유동의 영향에서 벗어났다.

본 연구에서는 모형의 중량과 자유낙하높이의 변화에 따른 충격압력과 유동특성을 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과는 선박 및 해양구조물에 요구되는 설계기준에 요구되는 기초자료이며, 추후 각도의 변화와 다양한 해양과의 유입에 따른 유체 동역학적 충격하중에 대한 단계적인 추가 연구가 필요하다.

#### References

- [1] Baker, G. S. and Keary, E. M.(1920). Experiments with Full-Sized Machines, British A.R.C. Reports and Memoranda No 683, pp. 1-10.
- [2] Kang, Oh and Kwon(2009), An Experimental study on shallow water effect in slamming, Journal of the Society of Naval Architects of Korea , Vol. 23, No. 1, pp. 60-66.
- [3] Lee and Cho(2009), “A study on PIV measurement of unsteady flow around disk caused by slide type valve quick closing“, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Vol. 15, No. 3, pp. 251-256.
- [4] Lee, Rim, Kim, Heo and Kim(2007), “A study on measurement of flare slamming of large container vessel (II) Characteristic analysis of measured slamming pressure“, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 3, pp. 279-284.
- [5] Lee J. and Philip A. W.(2010), Experimental study of the hydro-impact of slamming in a modern racing sailboat, Journal of Sailboat Technology, article 2010-01, pp. 1-29.
- [6] Manganelli, P. Wagemakers B. and Wilson P.(2003), Investigation of slamming loads using slam patches on a scaled model of an Open 60' class yacht, International Journal of Small Craft Technology, 145, pp. 47-62.
- [7] Park, Oh, Kwon and Chung(2009), A study on slamming impact pressure, Journal of the Society of Naval Architects of Korea Vol. 23, No. 1, pp. 67-73.
- [8] Park, Lee and Rim(2000), Whipping analysis of hull girders considering slamming impact loads, Journal of the Society of Naval Architects of Korea Vol. 37, No. 3, pp. 99-109.
- [9] Von Karman T.(1929), The Impact of Seaplane Floats during Landing, N.A.C.A. TN321 Washington, pp. 1-8.
- [10] Yum and Yoon(2008), “Numerical simulation of slamming phenomena for 2-D wedges, Journal of the Society of Naval Architects of Korea”, Vol. 45, No. 5, pp. 477-484.

Received 31 December 2014

Revised 24 February 2015

Accepted 24 February 2015