

FPSO 갑판 침입수 현상에 대한 선수부 형상 영향의 실험적 고찰

이현호* · 임호정** · 이신형***

*현대중공업(주) 선박성능연구실

**대우조선해양 종합설계운영팀

***서울대학교 조선해양공학과

Experimental Investigation of the Bow Configuration Influence on the Green Water on FPSO

Hyun-ho Lee*, Ho-Jeong Lim** and Shin Hyung Rhee***

*Ship Performance Research Department, Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd., Ulsan, Korea

**Basic Ship Design Team, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., Geoje, Korea

***Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

KEY WORDS: Green water on deck 갑판 침입수, Floating production storage and offloading vessel (FPSO) 부유식 생산 저장 하역 장치, Bow deck 선수부 갑판, Regular head waves 선수 규칙파

ABSTRACT: The green water on deck has many harmful effects on the vessel in rough seas such as damages to hull structures, damages to cargos, increase of the downtime, decrease of the stability, and so on. Floating Production Storage and Offloading vessels (FPSOs) are operated in a specific location and are normally positioned to meet mostly head or bow waves in order to reduce the roll motions. But this makes FPSOs more vulnerable to green water around the bow region therefore the bow shape should be properly designed to mitigate the green water damage. In this paper, experimental results in regular head waves for three kinds of bow shapes are compared and some design considerations are proposed, with the building a database for computational fluid dynamics (CFD) validation in mind.

1. 서 론

천해에서 시작된 해양 자원 개발은 천해의 자원이 점차 고갈되어 감에 따라 심해로 이동해 가고 있으며, 에너지 자원 수요의 증가에 따라 이러한 추세는 계속될 것으로 보인다. 심해에서의 자원 개발을 위해서는 기존의 고정식 해양구조물 보다는 부유식 해양구조물이 경쟁력이 있으며 이러한 부유식 해양구조물 중에서 대표적인 FPSO(Floating production storage and offloading vessel)의 이용은 점차 확대되고 있다. FPSO는 특정 해역에 장기간 계류되어 운용되기 때문에 횡동요를 최소화하기 위하여 그 해역에서 가장 발생 빈도가 높은 파도의 진행 방향과 선체의 길이 방향이 평행하도록 설치하는 것이 일반적이다. 따라서 FPSO의 선수부는 상대적으로 갑판 침입수가 발생할 가능성이 많아져 적절한 건현(Freeboard)의 확보 등의 방지 대책이 필요하다. FPSO의 설치 수심이 점차 깊어짐에 따라 환경 조건도 점차 악화되고 있는데, 높은 파도에 의해서 유발되는 갑판 침입수로 인하여 발생하는 FPSO의 작업 제한과 구조적인 손상 등에 대해서는 많은 사고들이 보고되고 있다(Ersdal and Kvitrud,

2000; Leonhardsen et al., 2001).

갑판 침수 현상에 관한 연구는 주로 선체와 파도의 상대운동을 추정하여 그 발생 빈도를 예측하는 기술, 갑판 위로 유입된 유동의 전파 양상을 추정하고 그 결과 갑판 상부의 구조물에 작용하는 하중을 예측하는 기술 등으로 진행되어 오고 있다. 갑판 침수 현상의 발생 빈도를 예측하는 기술은 파랑 중 선체의 운동 해석에 관한 부분으로 그 기술이 상당히 정립되어 있다고 볼 수 있다(Soares and Pascoal, 2005; Ogawa, 2003). 유입된 유동으로 인한 하중의 추정에는 아직도 많은 어려움이 있는데 최근에는 전산유체역학(CFD, Computational fluid dynamics)의 발달로 인하여 유입 유동의 거동과 하중 추정의 수치 계산에도 어느 정도 진전이 있다(Fekken et al., 1999). 그러나 아직까지 믿을 만한 하중의 추정 결과는 모형시험에 의존하고 있는 것이 현실이다. Buchner(2002)는 다양한 형상의 FPSO에 대한 모형시험을 실시하여 설계에 도움을 주고자 하였다. Greco et al.(2005)은 2차원 모형시험을 실시하여 갑판 침입수 유동의 양상을 파악하였다. 국내에서는 한주철 등(2004)이 FPSO에 대한 모형시험을 통하여 유동 현상을 관찰하였으며, 김용직 등(2004)은 모형시험과 수치

해석을 통하여 설계에 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 FPSO의 선수부 모형을 제작하고 선수 규칙과 중 갑판 침수 현상을 수조 모형시험을 통하여 파악하고, FPSO의 선수부 형상의 변화에 따른 유동 및 하중의 변화를 관찰하여 선수부 형상 설계에 도움을 주고자 하였다. 아울러 CFD 방법 개발을 위하여 필수적인 검증 데이터베이스를 구축하였으며, CFD 검증이 용이한 형상과 조건을 선택하였다.

2. 모형시험 조건

2.1 모형선

모형시험을 수행할 대상 FPSO의 주요제원을 결정하기 위하여 기존에 건조되어 운용되고 있는 FPSO들의 제원들을 조사하여 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 길이/폭 비는 5.0, 길이/깊이 비는 10.0 정도가 많으며, 길이는 큰 것을 기준으로 하면 대략 300m 정도임을 확인하였다(Wang and Spong, 2003). 따라서 본 연구에서는 길이 300m, 폭 60m, 깊이 30m의 FPSO를 염두에 두고 모형을 제작하였다. 갑판 침입수의 경우 건선이 중요한 설계 인자인데 Barcellona et al.(2003)이 사용한 선체 길이의 1.5%인 4.5m를 채택하였다. 모형선의 크기는 시험을 실시한 서울대학교 예인수조의 크기와 조파기 구동 능력을 고려하여 가상 FPSO의 1/100 축척으로 결정하였다.

갑판 침수 현상은 선체의 상대운동에 많은 영향을 받기 때문에 파랑 중 선체 운동을 고려한 모형시험을 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 선체의 상대운동의 영향은 무시하고, 입사파와 선체의 선수부 형상에 따라 갑판으로 유입되는 유동의 특성을 살펴보기 위하여 모형선을 고정된 상태로 실험을 실시하기로 하였다. 따라서 선체의 전체 길이를 모두 제작할 필요가 없기 때문에 실제 사용된 모형은 가상 모형 길이의 절반인 1.5m 길이로 제작하였다.

선수부 형상의 변화에 따라 갑판 침입수의 유동 특성 및 그에

따라 갑판에 작용하는 하중의 차이를 살펴보기 위하여 3가지 선수부 형상의 모형을 제작하였다. 갑판의 평면 형상은 직사각형인 형태와 직사각형의 꼭짓점 부분을 둥글게 처리한 형태(Round)의 2가지로 선정하였으며, 직사각형 갑판 형상의 모형은 동일한 갑판 크기를 유지하면서 선수 전방 경사각(Stem angle)이 0도(Rect0)와 5도(Rect5)로 다르게 되도록 2 가지를 선정하였다. 사용된 3가지 모형의 형상은 Fig. 2에 나타내었다.

2.2 입사파

문헌 조사를 통하여 FPSO의 사고 사례들을 조사한 결과 입사파의 파고(H_w)와 파장(λ)의 비의 범위가 0.04~0.08 정도일 경우 갑판 침입수로 인한 피해가 많은 것으로 나타났다. 파장의 경우는 선체의 길이와 비슷한 경우가 상대운동을 크게 유발할 수 있기 때문에 선체 길이의 0.75, 1.0 및 1.25배에 해당하는 규칙파를 선정하였다. 이 중에서 서울대학교 예인수조에서 재현할 수 있는 파고를 고려하여 H_w/λ 의 값을 0.04, 0.05 및 0.06의 3가지 값으로 선정하였다. 최종적으로 모형시험을 위하여 선정된 입사파의 파장과 진폭(A_w)들은 Table 1에 나타내었다.

2.3 시험 방법 및 계측 장치

본 모형시험의 주된 관심 사항은 갑판 위의 여러 지점에서의 압력 분포이다. 따라서 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 갑판 상의 여러 지점에 압저항형 압력계를 설치하였으며(Watecs의 WT-P020 모델, 0.2kgf/cm² 용량, 최대 5000Hz 응답), 입사파의 계측을 위하여 모형선 전방에 용량식 파고계(프로컴의 PCA-WHS51 모델)를 설치하였다. 계측기들로부터 출력되는 아날로그 신호들은 노트북 컴퓨터의 PCMCIA 슬롯에 연결된 A/D 변환기(National Instrument의 DAQCard-AI-16XE-50 모델, 16 비트 해상도)를 이용하여 디지털 신호로 변환한 후 전자 파일로 저장하였다. 세 가지 갑판 형상의 상대적인 비교가 가능하도록 하기 위하여 각 모형에서 압력을 계측하는 위치는 모두 동일하게 설정하였다.

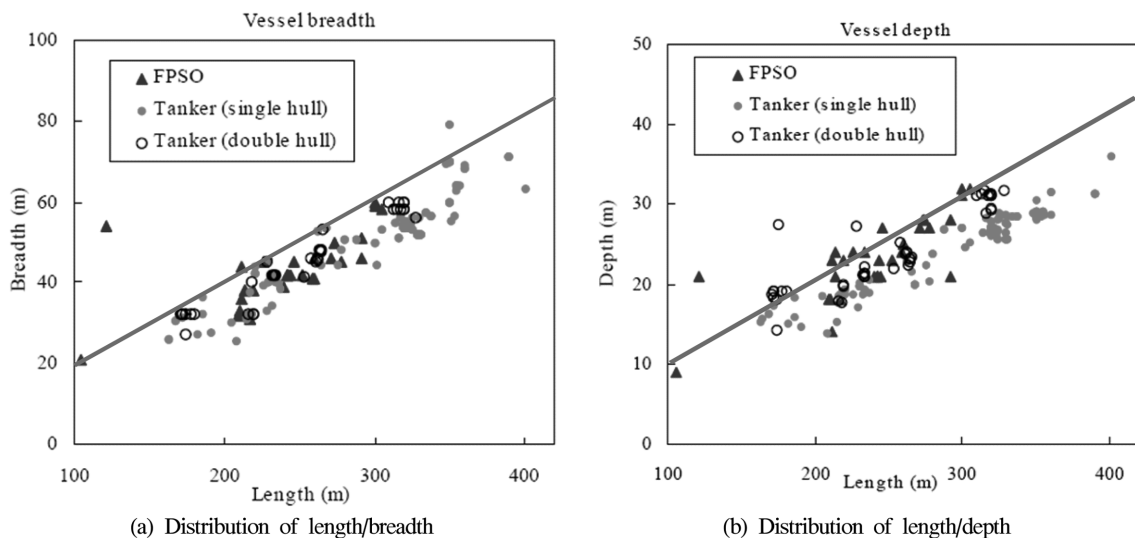


Fig. 1 Size of the existing FPSOs

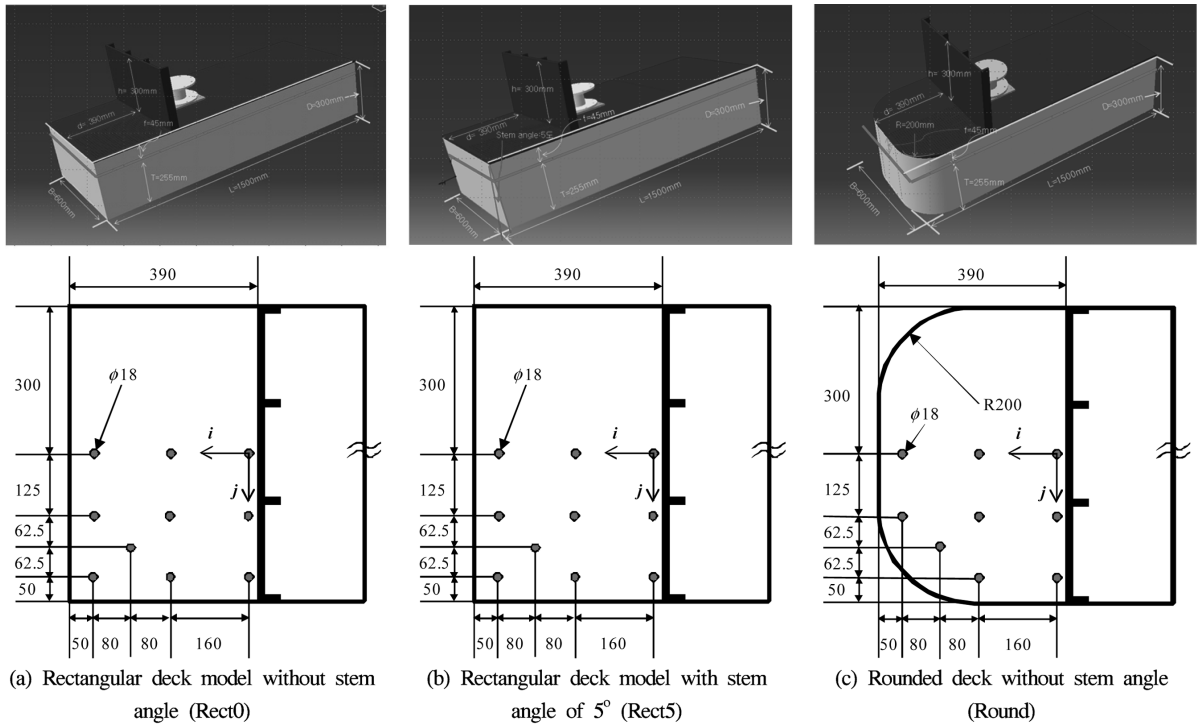


Fig. 2 FPSO bow models

Table 1 Regular wave conditions

H_w/λ	$\lambda = 225\text{cm}$	$\lambda = 300\text{cm}$	$\lambda = 375\text{cm}$
	A_w (cm)		
0.04	4.5	6.0	7.5
0.05	5.625	7.5	9.375
0.06	6.75	9.0	11.25

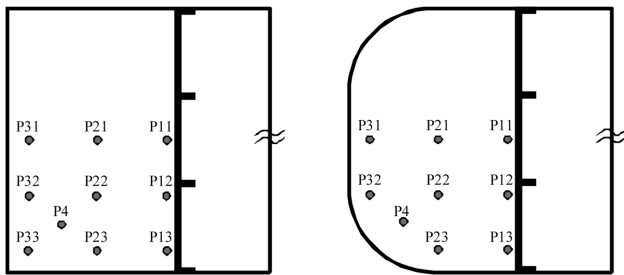


Fig. 3 Locations of pressure measurement (left: Rect0 & Rect5 models, right: Round model)

갑판 위로 유입된 유동의 양상을 살펴보기 위하여 갑판에 격자를 표시한 후 모형선 정면 위에서 캠코더를 이용하여 동영상 촬영하였다. 전체적인 실험 장치의 개략도는 Fig. 4와 같다.

모형선을 고정된 상태에서 시험을 진행하였기 때문에 반사파의 영향을 최소화하기 위하여 모형선을 수조의 중앙에서 조파기 쪽으로 더 가까운 위치에 고정하였다. 계측은 입사파가 없는 상태에서부터 시작하여 반사파가 모형선에 도달하는 시점에 이르기까지 충분한 시간 동안 실시하였으며, 이 중 규칙파가 유지

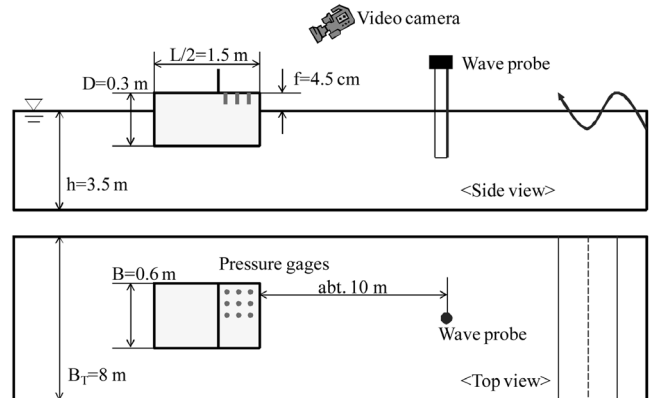


Fig. 4 Schematic view of instrumentation

된 부분에 대한 신호에 대해서만 해석에 이용하였다. 갑판 침입수에 의한 순간적인 압력의 변화를 계측하기 위하여 모든 계측은 1,000Hz의 속력으로 실시하였으며, 이것은 Froude의 상사법칙을 이용하여 실선의 값으로 환산할 경우 100Hz의 속력에 해당한다.

모형시험에 사용한 압력계는 총 5개로 압력을 계측하는 위치의 개수에 비해서 적다. 따라서 하나의 모형시험 조건에 대해서 압력계의 설치 위치를 바꾸어 가면서 2~3회에 걸쳐서 반복 시험을 실시하였다. 반복 시험의 결과가 어느 정도 일관된 결과를 나타내는지 확인하기 위하여 항상 P21 위치의 압력을 계측하여 비교의 기준으로 하였다. Rect0과 Rect5 모형의 경우 Fig. 3에서와 같이 총 10개의 압력 계측 위치가 있어서 수직벽 근처의 계측 조합(P11, P12, P13, P22, P21, 기호: Wall), 선수 끝단 근처의

계측 조합(P31, P32, P33, P23, P21, 기호: Front) 및 대각선 위치를 포함한 조합(P31, P32, P33, P4, P21, 기호: Diag)으로 나누어 시험을 실시하였다. Round 모형의 경우는 Fig. 3에서와 같이 총 9개의 압력 계측 위치가 있어서 수직벽 근처의 계측 조합(P11, P12, P13, P22, P21, 기호: Wall)과 선수 끝단 근처의 계측 조합(P23, P31, P32, P4, P21, 기호: Front)으로 나누어 시험을 실시하였다.

3. 모형시험 결과 및 고찰

3.1 재현성

앞에서도 언급했듯이 동일한 조건의 모형시험을 수행하는 경우에도 수 차례에 걸쳐서 반복 계측을 수행했기 때문에 여러 번의 시험에서 동일한 상황이 재현될 필요가 있다. Fig. 5에는 Rect0 모형에 대해서 입사파와 P21 위치에서의 압력을 세 번 계측한 결과를 비교하여 나타내었는데, 입사파의 경우 상당히 양호한 재현성을 나타내고 있고, 압력의 경우도 약간의 차이를 보이고 있으나 비교적 양호한 재현성이 있음을 확인할 수 있다.

3.2 불확실성 해석

규칙과 중 시험을 실시할 경우에도 매 주기마다 응답 진폭이 완전히 동일할 수는 없다. 계측 신호를 살펴보면 입사파의 경우는 비교적 응답의 진폭이 일정한 값을 유지하지만 압력의 경우는 응답의 진폭이 많이 변하는 양상을 나타낸다. 이와 같은 계측 결과의 불확실성을 정량적으로 평가하기 위하여 매 주기의 응답의 진폭을 이용하여 ASME(American society of mechanical engineers, 1986)에서 제시한 방법에 따라 불확실성 해석을 수행하였으며, 95% 신뢰 수준에서 RSS(Root sum square) 방식에 의한 분석 결과는 Table 2와 같다. 예를 들어, 불확실성이 151.8 Pa인 P11 지점에서 1000Pa의 압력이 계측되었다고 가정하면 실제 P11 지점에 작용하는 압력이 848.2~1151.8Pa 사이에 있을 확

Table 2 Measurement uncertainties

Quantity	Unit	Uncertainty
P11	Pa	151.8
P12	Pa	67.4
P13	Pa	52.3
P21	Pa	87.1
P22	Pa	58.8
P23	Pa	65.0
P31	Pa	80.4
P32	Pa	70.7
P33	Pa	60.4
P4	Pa	62.0
Aw	cm	0.66

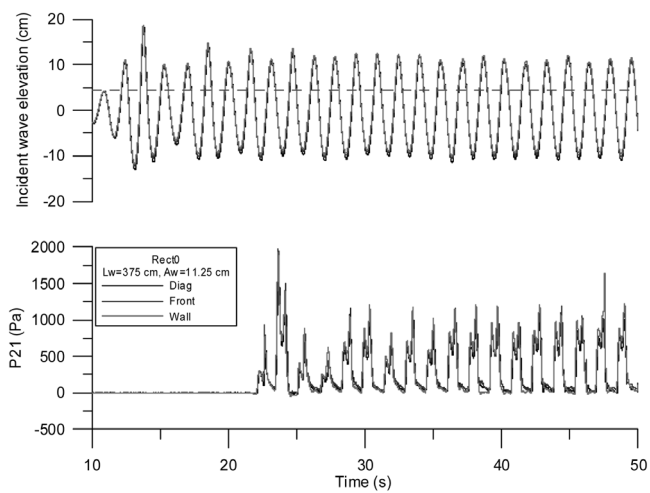


Fig. 5 Example of repeatability check for Rect0, $\lambda = 375\text{cm}$, $A_w = 11.25\text{cm}$ (upper: incident wave elevation, lower: pressure at P21)

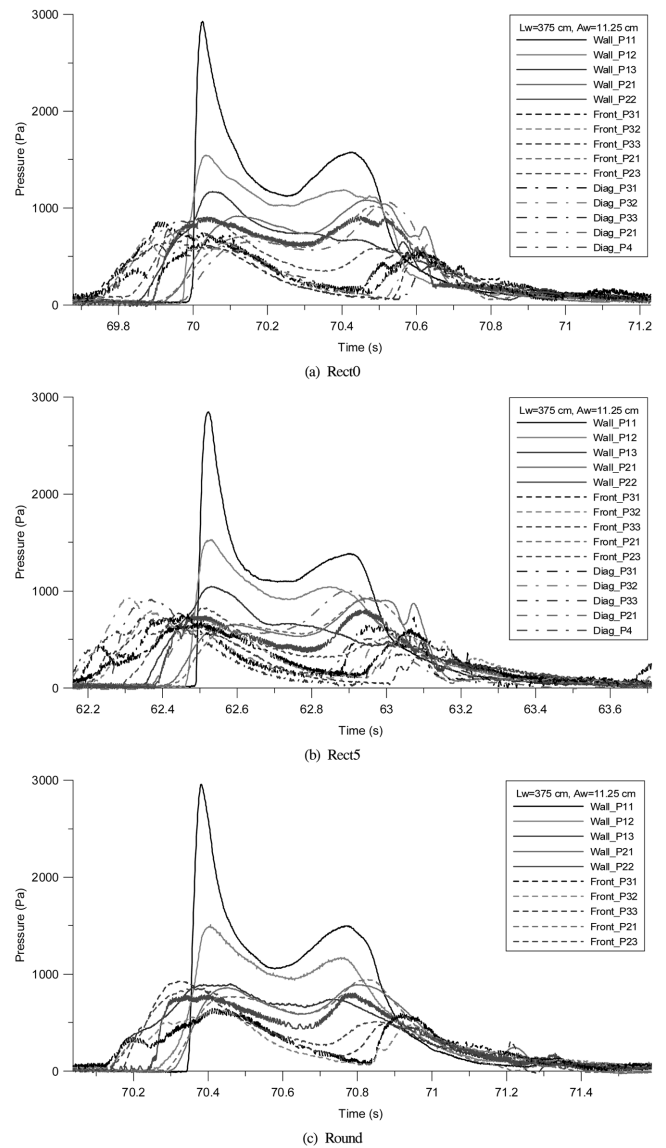


Fig. 6 Comparison of the pressure time histories at different locations ($\lambda = 375\text{cm}$, $A_w = 11.25\text{cm}$)

률이 95%라는 의미가 된다. 압력의 불확실성은 충격 하중이 가장 많이 작용하는 P11 지점에서 압력계 최대 용량의 약 0.8% 정도로 가장 큰 값을 나타내었는데, 이러한 불확실성 해석을 통해서도 충격 현상의 높은 불확실성을 확인할 수 있다.

3.3 계측 위치 별 압력의 시계열 형태

각 계측 위치에 따라 작용하는 압력의 시계열 양상이 어떻게 차이가 나는지 확인하였다. 본 논문에서는 가장 큰 파장과 파고에 대한 계측 결과만을 나타내도록 한다. Fig. 6에는 $\lambda=375\text{cm}$, $A_w=11.25\text{cm}$ 인 경우에 대하여 세 가지 모형에서 계측된 압력의 시계열을 나타내었다. 세 가지 모형에서 모두 유사한 형태의 압력 시계열 형태를 확인할 수 있는데, 선체 중앙부의 벽면 근처인 P11 위치에서 가장 큰 압력이 작용하는 것을 알 수 있다. 모든 계측 위치에서 두 개의 압력 피크가 나타나는 것을 확인할 수 있는데 첫 번째 압력 피크는 갑판 침입수가 유입되어 나타나는 것이며, 두 번째 압력 피크는 유입된 물이 갑판 위의 벽면에 부딪히고 난 이후 선체 밖으로 빠져나가는 유동에 의해서 나타나는 것이다. 벽면 근처인 P11, P12 및 P13 위치에서는 첫 번째 압력 피크가 상대적으로 더 크고, 나머지 위치에서는 첫 번째와 두 번째 압력 피크의 크기가 거의 유사한 것을 확인할 수 있다. 이것은 벽면 근처에서는 유동이 물리기 때문인 것으로 보인다.

3.4 입사파 조건에 따른 최대 압력의 크기 비교

갑판 침입수에 의해서 가장 큰 하중을 받는 P11 위치에서의 압력에 대해서 입사파의 조건에 따라 세 가지 모형에서 어떠한 차이를 보이는지 살펴보았다. 앞서서도 언급하였듯이 비교적 양호한 재현성을 보이는 실험을 하였으나 계측된 압력을 바로 비교하는 것은 불확실성의 차이에 대한 반영이 되지 않기 때문에 무차원화된 압력을 비교하기로 한다.

우선 규칙파가 유지되는 구간에서 계측된 입사파와 압력의 피크들을 매 주기마다 추출하여 진폭의 산술 평균을 구한다. 입사파의 진폭이 클 경우는 갑판으로 유입되는 물의 양도 많을 것이고 유발되는 압력도 클 것이다. 따라서 다음의 식과 같이

계측된 압력을 갑판 위로 유입된 물의 평균적인 높이에 대응하는 수압으로 무차원화를 하여 그 결과를 비교하기로 한다.

$$P = \frac{P_{ave}}{\rho g (A_{w,ave}^+ - f)}$$

여기서 P_{ave} 는 계측된 압력의 평균 진폭, ρ 는 물의 밀도 ($=998.199\text{kg/m}^3$), g 는 중력 가속도 ($=9.81\text{m/s}^2$), $A_{w,ave}^+$ 는 계측된 입사파의 평균 양의 진폭, f 는 건현을 각각 나타낸다. 즉, 무차원 압력인 P 의 값이 1.0 보다 크다는 것은 유동의 쓸림 현상이나 충격 등의 동적 효과가 더 크게 나타났다고 생각할 수 있다.

Fig. 7에는 세 가지 모형에 대하여 P11 지점에서의 무차원 압력을 비교하여 나타내었다.

파장이 225cm인 경우에는 Rect0 모형의 경우 가장 큰 압력을 나타내었고 Rect5 모형이 가장 작은 압력을 나타내었다. Rect0 모형의 경우에는 파의 진폭이 커짐에 따라 압력이 줄어드는 경향을 나타내었고, Rect5 모형은 반대로 파의 진폭이 커짐에 따라 압력이 커지는 경향을 나타내었다. Round 모형의 경우 파의 진폭에 따라 일정한 경향을 보이지는 않았다.

파장이 300cm인 경우 역시 Rect0 모형의 경우 가장 큰 압력을 나타내었다. Rect5와 Round 모형의 경우는 거의 유사한 수준의 압력이 계측되었다. Rect0 모형의 경우에는 파의 진폭이 커짐에 따라 압력이 커지는 경향을 나타내었고, Rect5와 Round 모형의 경우는 파의 진폭이 커짐에 따라 압력이 증가하다가 어느 정도 수준에 머무는 듯한 경향을 나타내었다.

파장이 375cm인 경우 역시 Rect0 모형의 경우 가장 큰 압력을 나타내었고 Rect5 모형이 가장 작은 압력을 나타내었다. Rect0과 Rect5 모형의 경우에는 파의 진폭이 커짐에 따라 압력이 줄어드는 경향을 나타내었고, Round 모형의 경우에는 일정한 경향을 나타내지 않았다.

세 가지 모형 모두에 있어서 파장이 225cm와 300cm인 경우의 압력은 거의 유사한 수준을 보이고 있지만, 파장이 375cm인 경우의 압력은 동일한 입사파 진폭인 경우에 있어서도 파장이 짧은 경우에 비해서 약 2~3배 정도 큰 압력을 나타내었다. 이 원인은 비디오 분석을 통하여 추정하였는데, 입사파의 파장이

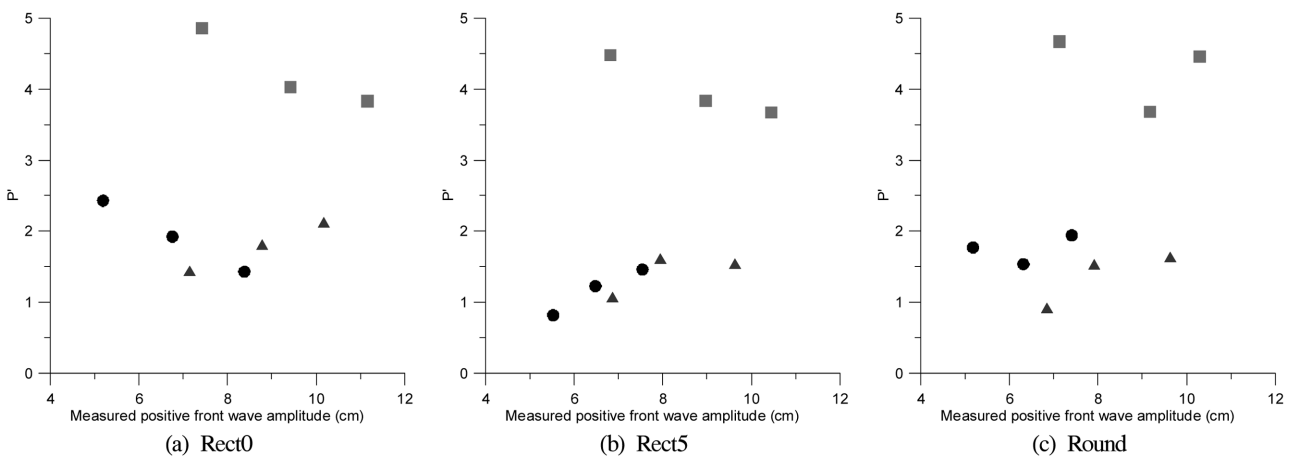


Fig. 7 Comparison of the maximum non-dimensional pressures at P11 location (●: $\lambda=225\text{cm}$, ▲: $\lambda=300\text{cm}$, ■: $\lambda=375\text{cm}$)

짧은 경우 벽면에 부딪히고 반사되어 나가는 유동이 미처 갑판 밖으로 완전히 빠져 나가지 않은 상태에서 다음의 갑판 유입수와 증척이 되어 상대적으로 벽면에 도달하는 유량의 운동량이 감소했기 때문인 것으로 판단된다. 반면 파장이 긴 경우에는 파의 주기가 상대적으로 길기 때문에 벽면에 부딪힌 파가 배수될 시간이 충분하여 갑판에 유입된 유동이 갑판 위에서 별 저항 없이 벽면까지 도달할 수 있었기 때문에 상대적으로 큰 압력이 계측된 것으로 보인다.

4. 결 론

본 논문에서는 세 가지 형태의 FPSO의 선수부 모형을 제작한 후 정면 규칙파 중에서 모형시험을 실시하여 갑판 침입수로 인하여 갑판 상부에 작용하는 압력을 비교하였으며, 이로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 갑판 침입수로 인해 갑판 상부에 작용하는 압력은 유동이 유입되는 갑판 끝단 보다 갑판 위의 수직 벽면 근처에서 가장 크게 나타난다.

(2) 벽면 근처에서 계측되는 최대 압력은 선수부가 5도 경사진 직사각형 형태의 모형(Rect5)에서 가장 작게 나타났으며, 선수부 경사가 없는 직사각형 형태의 모형(Rect0)에서 가장 크게 나타났다.

(3) 따라서 갑판 침입수로 인한 하중을 줄이기 위해서는 선수부에 적절한 경사를 주는 것이 바람직하다고 할 수 있으며, 선수부 측면 끝단의 형상도 둥글게 하는 것이 낫다고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 선박의 운동을 고려하지 않았고, 규칙파 중에서 비교만 수행하였으므로 이러한 경향이 일반적이라고 하기에는 다소 무리가 있다.

(4) 상대적으로 CFD 해석이 용이한 형상과 조건을 선정하여 모형시험을 실시하였으므로 향후 CFD 해석 결과의 검증 자료로 적절히 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2007-313-D00932)임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

김용직, 신기석, 허주호, 서용석, 김화수, 하태범, 하영록, 추교덕, 박경원, 김대웅, 권승민, 이춘기, 김문성, 한용연, 이현호, 문중수, 김대현, 도형민 (2004). "선수갑판 Green Water에 대한 수치계산 및 실험", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp 105-114.

한주철, 이승건, 정성재 (2004). "FPSO선의 갑판침수에 관한 실

험적 연구", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp 332-337.

ANSI/ASME PTC 19.1-1985 (1986). Measurement Uncertainty, Supplement on Instrument and Apparatus, Part 1, ASME, New York.

Barcellona, M., Landrini, M., Greco, M. and Faltinsen, O.M. (2003). "An Experimental Investigation on Bow Water Shipping", Journal of Ship Research, Vol 47, No 4, pp 327-346.

Buchner, B. (2002). Green Water on Ship-Type Offshore Structures, PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.

Ersdal, G. and Kvitrud, A. (2000). "Green Water Incidents on Norwegian Production Ships", Proc. of the 10th International Conference on Offshore and Polar Engineering, ISOPE 2000, Seattle, Vol 1, pp 211-218.

Fekken, G., Veldman, A.E.P. and Buchner, B. (1999). "Simulation of Green-water Loading Using the Navier-Stokes Equations", Proc. of the 7th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Nantes, pp 6.3-1-6.3-12.

Greco, M., Faltinsen, O.M. and Landrini, M. (2005). "Shipping of Water on a Two-dimensional Structure", Journal of Fluid Mechanics, Vol 525, pp 309-332.

Leonhardsen, R.L., Ersdal, G. and Kvitrud, A. (2001). "Experience and Risk Assessment of FPSOs in Use on the Norwegian Continental Shelf: Descriptions of Events", Proc. of the 11th International Conference on Offshore and Polar Engineering, ISOPE 2001, Stavanger, Vol 1, pp 309-314.

Ogawa, Y. (2003). "Long-term Prediction Method for the Green Water Load and Volume for an Assessment of the Load Line", Journal of Marine Science and Technology, Vol 7, pp 137-144.

Soares, C.G. and Pascoal, A. (2005). "Experimental Study of the Probability Distributions of Green Water on the Bow of Floating Production Platforms", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol 127, pp 234-242.

Wang, G. and Spong, R. (2003). "Experience Based Data for FPSO's Structural Design", Offshore Technology Conference, OTC 15068.

2009년 7월 5일 원고 접수

2009년 9월 30일 심사 완료

2009년 10월 19일 게재 확정