Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 25, No. 4, pp. 489-497, June 30, 2019, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.4.489

선수파 및 사파조건에서 컨테이너선의 선수 플레어 슬래밍 하중 추정에 관한 수치적 연구

서대원* · 오정근**†
* 한국선급 선박해양연구소, ** 군산대학교 조선해양공학과

Numerical Study on Prediction of Flare Slamming Load on Container Ship under Head Sea and Oblique Sea Conditions

Dae-Won Seo* · Jungkeun Oh**†
* Korean Register, R&D Center, Busan 46762, Korea
** Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

요 약 : 거친 해상 조건에서 운항하는 선박은 파도와의 상대운동으로 인해 슬래밍 하중에 노출된다. 특히 선수가 자유수면으로 입수하는 과정에서 선체부는 일시적으로 큰 슬래밍 충격하중을 받게된다. 일반적으로 대형 컨테이너선박의 경우, 큰 플레어를 가지는 특징이 있으며, 이로 인해 플레어 슬래밍 충격하중으로 인한 구조적 손상이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 슬래밍 수치시뮬레이션을 위해 먼저 신뢰할 만한 실험결과와의 비교검증을 수행하였으며, 선수 및 사파에서 선수플레어 슬래밍 하중을 추정하였다. 그 결과 슬래밍 하중이 발생되는 위치는 0.975st이며, 최대 충격 하중은 선수파 조건에서 약 475kPa임을 확인하였다.

핵심용어 : 슬래밍 하중, 선수 플레어 슬래밍, 충격하중, 컨테이너 선박, 전산유체역학

Abstract : *A ship operating under rough sea conditions is exposed to a slamming load due owing to its motion relative to encountered waves. In the process of reentering the water, the ship's structure is temporarily subjected to an impact pressure. In particular, bow flare slamming often occurs in large container ships with a large flare angle, and can cause structural damage. Numerical simulations were performed in this study, and the results were compared with reliable experimental results. The simulation results were also used to estimate the bow flare slamming pressures on a container ship under head sea and oblique sea conditions. It was found that a maximum impact pressure of 475 kPa was generated near the 0.975 station of the container ship under a head sea condition.*

Key Words : *Slamming Load, Bow flare slamming, Impact pressure, Container ship, CFD*

1. 서 론

거친 해상조건에서 운항하는 선박은 파도와의 상대운동으로 인해 선수 및 선미부가 자유수면에 부딪히는 운동이 반복적으로 발생하게 된다. 자유수면에 부딪히는 과정에서 선체는 일시적으로 유체가 가한 충격압력을 받게 된다. 이러한 충격압력은 발생되는 위치에 따라 선수 플레어 슬래밍, 선저 슬래밍, 선미 슬래밍, 갑판침입수 하중으로 분류되어 다양한 연구가 수행되어 오고 있다. 일반적으로 컨테이너의 경우 큰 플레어 각으로 인해 선수 플레어 슬래밍이 자주 발생하며, 비교적 넓은 선미를 갖는 LNG선 등은 선미 부근에 슬래밍 현상이 나타나고, 탱커의 경우는 선수가 뭉뚝하기 때문에 선저부에 큰 슬래밍 하중이 가해진다. 이처럼 반복적으로 가해진 충격하중은 구조적 손상을 초래하며, 선박의 안정성에 큰 영향을 미치게 된다.

따라서 슬래밍에 의한 충격하중을 계산하는 것은 상당히 중요한 일이라 할 수 있다. 과거 슬래밍 하중을 평가하기 위해서 Von Kármàn(1929)는 2D 원형 실린더 및 쐐기 형상에 대해 자유수면에 입수 할 때의 점근적 해(asymptotic solution)를

* First Author : dwseo@krs.co.kr, 070-8799-8539
† Corresponding Author : jkoh@kunsan.ac.kr, 063-469-1857

찾기 위해 노력하였다. 이후 Dobrovol'skaya(1969) 등에 의해 포텐셜 유동에 기초하여 해석적인 해를 찾는 연구가 활발히 진행되었다(Zhao and Faltinsen, 1998). 그러나 포텐셜 기반의 운동평가법의 경우 선수미가 자유수면에 부딪힐 때 발생되는 쇄파에 대한 모사의 어려움이 있었다. 이후 모형시험 및 수치계산을 통해 자유수면과 선박의 상대운동에 의한 쇄파 현상까지도 모사하려고 시도해 왔다. Zhao et al.(1996)은 30° 각을 갖는 쐐기형 물체의 자유낙하실험을 통해 슬래밍 압력을 계측하였으며, 쐐기형 물체의 횡요 각을 변화시켜가며 슬래밍 압력의 관계를 조사하였다. 이러한 다양한 실험은 최근에도 많은 연구가 진행되어 오고 있으며, 특히 Hong et al.(2014)은 2D 쐐기형 단면과 실제 선수 횡 단면에 대한 2차원 낙하시험을 통해 형상이 슬래밍 압력에 미치는 영향을 연구하였으며, 3차원 선박 모형에 대해 규칙 파 및 불규칙파 조건에서 슬래밍 압력을 계측한 바 있다.

Wang and Soares(2012)는 수치계산을 통해 쐐기형 물체의 낙하실험 결과와 상당히 잘 일치하는 것을 확인한 바 있으며, Kim et al.(2008)은 쌍축선미형상을 갖는 LNG 선박의 3차원수치계산을 수행한 바 있다. 또한 Seo et al.(2018)은 컨테이너 선박에 대한 선수 플레어 슬래밍 하중을 CFD와 선급 산식을 통해 비교한 바 있으며, Hong et al.(2014)은 10,000TEU 선박에 대해 선수 플레어 슬래밍 하중을 실험적으로 계측한 바 있다. 그러나 슬래밍 현상 자체가 극히 짧은 순간에 나타났다 사라지기 때문에 수치계산을 통해 슬래밍 현상을 정확히 추정하기에는 아직까지도 무리가 많다. 특히 수치계산 계산간격(dt)을 충분히 작게 해야 충격압력 모사가 가능하므로, 전체적인 계산 소요시간은 상당히 증가한다.

선박의 큰 운동과 격렬한 자유수면이 상당히 정확하게 계산되어야 추정된 슬래밍 하중의 신뢰도가 높다. 종종 실선 축척에서 불규칙파에 의한 슬래밍 하중을 추정하기 위한 연구(Chen and Chen, 2014; Wang and Soares, 2016)가 진행된 경우가 있으나, 수치계산 시간을 고려하면 설계단계에서 적용하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다. 따라서 대부분 불규칙파를 규칙파로 치환하고, 선수파 또는 추파로 간략화하여 해석하는 것이 현재 일반적인 추세이다(ABS, 2002).

본 연구에서는 운동해석을 통해 슬래밍 하중이 가장 클 것으로 예상되는 설계파 조건을 선정하고, 주어진 설계파 조건인 선수파 및 사파 조건에서 수치계산을 수행하여, 슬래밍 압력의 크기 및 발생 위치에 대해서 조사하였다.

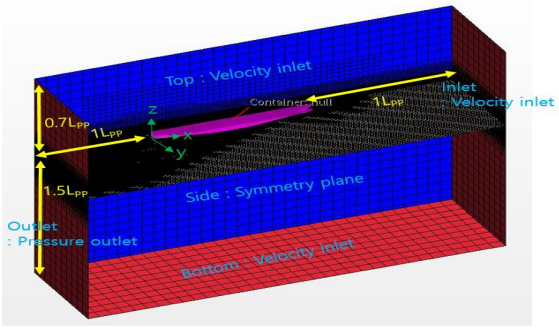
2. 계산 조건

대상선박은 길이가 350 m, 폭 48 m인 15,000TEU급 대형 컨테이너 선박으로 수치계산은 1/45 크기의 모형스케일에서 수행하였다. 또한 모형스케일의 압력은 식(1)과 같이 일반적으로 충격하중에서 사용하고 있는 상사법칙을 통해 실선의 압력과 시간으로 확장하였다.

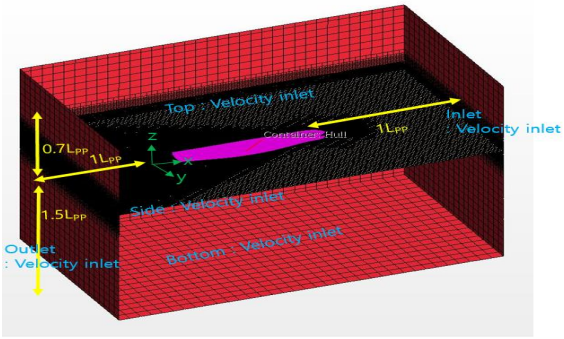
$$P_f = P_m\left(\frac{\rho_f L_f}{\rho_m L_m}\right),\ t_f = t_m \times \sqrt{\frac{L_f}{L_m}} \tag{1}$$

여기서, P_f, L_f, ρ_f는 실제 선박에 작용하는 압력, 선박의 길이, 유체 밀도이며, P_m, L_m, ρ_m은 모형스케일에서 선박의 표면압력, 모형선박의 길이, 유체밀도를 의미한다.

트리머 격자에 따라 만들어진 다면체 격자에서는 물리량의 공간 구배를 계산함에 있어 2차 정확도를 위해 최소 자승법을 사용한다. 또한 추가적으로 선체표면의 경계층 유동을 비교적 정확하게 모사하기 위해 경계층 격자 기법을 사용하여, 모형선 선체를 기준으로 선체 표면으로부터 4개의 격자 층을 생성시켜 선수파조건(반폭)에서는 총 700만개, 사파조건에서는 총 1,400만개의 격자로 Fig. 1과 같이 구성하였다. 또한 사파조건에서는 선박의 선수 방향을 120°로 회전시키기 않고 단순히 유입면에서의 벡터 성분을 120° 로 조정하여 선박의 회전없이 파도와 유체가 일정한 각도로 입사되도록 조정하였다.



(a) Head sea condition



(b) Oblique sea condition

Fig. 1. Numerical domain of head sea condition and oblique sea condition.

슬래밍 현상은 입사파의 파고 및 파장에 따라 상대적인 운동이 변화될 수 있으므로, 입사파가 잘 구현이 되어야 한다. Abdussamie et al.(2014)는 파고 및 파장의 격자 수 에 따른 수치계산 연구를 수행한 바 있으며, 그 결과 파고에 대해 30개, 파장에 대해 80개 이상의 격자를 사용했을 때 비교적 파도를 잘 모사한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 이를 바탕으로 파고의 50개, 파장의 100개 정도의 격자를 위치시키도록 구성하였다. 계산에 사용되는 파의 파고와 주기를 고려하여, 수치계산에서는 Stokes 5th order wave를 사용하였다. 또한 선체로 진행되어 들어오는 수치적 댐핑에 의해 파의 파고가 감소하는 것을 방지하기 위해서, EOM(Euler Overlay Method)기법을 이용하였다. 본 방법은 CFD 해와 산란되지 않은 파를 blending하는 기법으로 물체에서 산란된 파들이 계산경계에 반사되어 CFD 영역으로 들어오는 것을 방지하기 위해 사용된다. EOM 길이는 유입면으로부터 0.5L, 유출 면으로부터 0.3L을 적용하여 파고가 감소되지 않도록 하였다.

자유수면 위치(z=0)이며, 계산 영역의 측면은 대칭조건, 선체표면에서는 벽조건을 주었다. 또한 자유수면을 고려하기 위해서 VOF(Volume of Fluid)방법을 사용하였다.

수치계산 조건은 6자유도 운동 중 Pitch와 Heave 동적운동 구현이 가능한 DFBI(dynamic fluid body interaction) 기법을 적용하여 선수파 조건에서는 트림과 침하가 가능한 비구속조건(Free)을 설정하였으며, 사파조건에서는 횡운동을 비구속조건(Free)으로 추가하였다.

선수 슬래밍 하중을 발생시킬 수 있는 대상 파고 및 파장을 선정하기 위해, 일반적으로 쓰이는 등가 설계파고 산정법(Equivalent Design Wave method)과 선수부와 파면의 상대운동을 고려하였다. 대상선박의 6자유도 운동은 한국선급이 보유한 포텐셜 이론을 기반의 운동해석 프로그램인 KR3D를 사용하였다. 계산된 선박운동을 바탕으로 선수부와 입사파의 상대운동에 대한 RAO(Response Amplitude Operators)를 도출하였다. 여기서 선수부 슬래밍에 가장 큰 영향을 주는 파향은 Fig. 2와 같이 선수파(180°)와 사파(120°)로 나타났으며, 파장은 최대의 상대운동을 야기한 주파수로 정하였다. 입사파의 파고를 선정하기 위해 북대서양 파랑분포표(IACS Rec. No34) 및 PM스펙트럼을 이용하여 10^{-8} 확률에 해당하는 장기응답을 계산하고 이를 선수파에 의한 상대운동의 최대 값으로 나누어 장기응답이 발생할 수 있는 파고를 선정하였다.

최소 추진 출력의 선속 5 knot에서 선수부와 파면(wave elevation)과의 상대운동이 가장 큰 파조건은 Table 1에 요약하였다. 선수파(180°) 조건에서 파고 21.45 m, 주파수 0.438 rad/s이며, 사파(120°) 조건에서 파고 18.96 m, 주파수 0.553 rad/s로 나타났다.

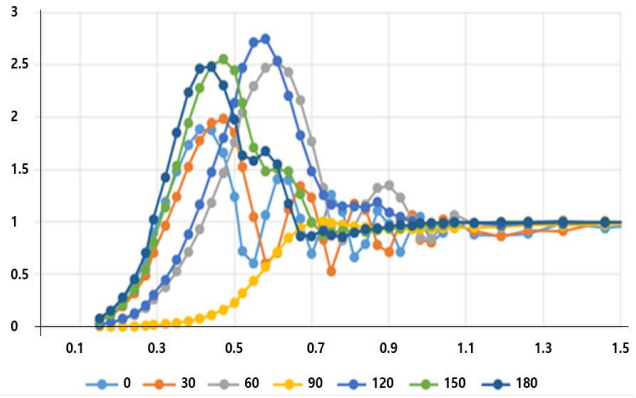


Fig. 2. RAOs of relative motion at bow.

Table 1. Test condition for slamming simulation

Wave Heading (°)	Wave Height (m)	Wave Frequency (rad/s)	Vs (knot)
180	21.45	0.438	5
120	18.96	0.553	5

3. 수치계산 유효성 검토

일반적으로 CFD해석을 통한 충격압력 추정은 시간간격(dt)에 따른 영향이 가장 크다고 알려져 있다(Peric and Zorn, 2015). 본 연구에서는 본격적인 3차원 선박의 슬래밍 압력 추정 해석에 앞서, 충격압력 추정의 정확도를 높이기 위해, 신뢰할만한 모형시험결과가 있는 쐐기형 물체의 자유낙하 입수문제에 대해 수치계산기의 유효성을 검토하였다.

3.1 대상 모형

수치계산의 유효성을 검토를 위한 대상모형으로 신뢰할만한 실험결과가 공개된 2차원 쐐기형 물체를 택하였다. 대상 모형은 Fig. 3과 같이 길이방향으로 800 mm, 폭(B)방향 최대길이는 600 mm, 쐐기각도가 30°이며, 실험과의 비교 대상 위치는 쐐기의 꼭지점으로부터 50 mm 떨어진 지점이며, 자세한 사항은 Kim et al.(2014) 논문을 참고한다.

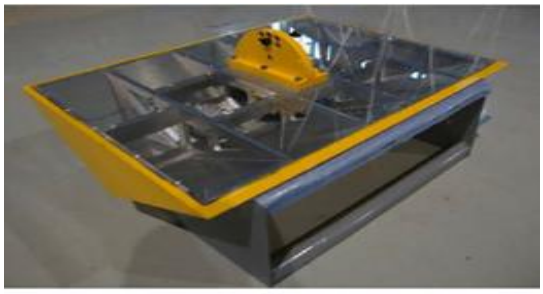
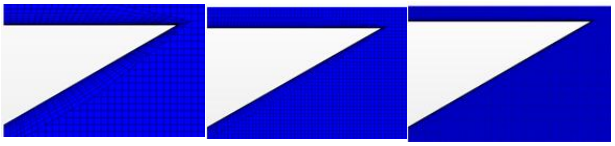


Fig. 3. Experiment on the 2D wedge (Kim et al., 2014).

3.2 격자 크기 영향

격자의 크기가 충격압력에 미치는 영향을 살펴보기 위해 Fig. 4와 같이 세가지 격자 조건에 대해서 수치계산을 수행하였다. 격자 정의는 B/Y_{cell}로 정의하였다. 성긴격자의 B/Y_{cell}은 약 60이며, 중간격자와 조밀한 격자의 B/Y_{cell}은 120, 240이다(Table 2). 여기서 B는 쐐기의 폭이며, Y_{cell}은 폭방향 최소 격자의 크기 의미하며, 수치계산 시간간격은 모형시험에서 사용된 센서의 계측속도와 동일한 5×10^{-5}(20 kHz)로 동일하도록 고정하였다.



(a) Coarse (b) Medium (c)Fine

Fig. 4. Grid composition.

Table 2. Test conditions of the various grid systems

	△x, △y [m]	B/Y_{cell}	dt[s]
Coarse	0.01	60	5×10^{-5}
Medium	0.005	120	
Fine	0.0025	240	

격자구성이 충격압력 추정에 미치는 영향을 Fig. 5에 보인다. 그림과 같이 수치계산 결과 전체적인 최대압력값 및 특성이 실험결과와 유사한 것으로 나타났으며, 수치계산의 모든 경우에서, 실험에 비해 압력진동이 발생하는 것으로 보이나, 이는 실험값이 필터를 통해 정제되었기 때문으로 판단된다. 중간격자 이상에서는 압력 절대값이 실험값과 약 3 % 이내로 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 다만, 성긴 격자의 최대 피크 압력이 발생하는 시점 및 절대값이 모형시험결과와 다른 것으로 나타났다.

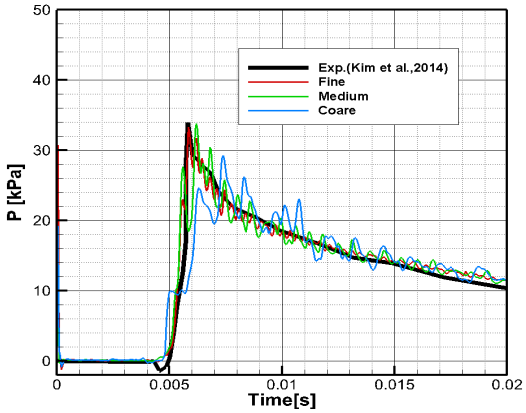


Fig. 5. Pressure time history of the various grid resolution.

본 해석 결과를 바탕으로 선박의 슬래밍 충격압력 계산시 격자의 조밀도(B/Y_{cell})가 최소 120 이상 되도록 구성하였다.

3.3 시간간격에 의한 영향

극히 짧은 시간동안 선체에 가해지는 충격압력은 시간간격에 따라 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 시간간격이 충격압력의 크기 및 양상에 미치는 영향을 조사하기 위해 Table 3과 같이 네가지 조건에 대해 수치계산을 수행하였다. Kim et al.(2014)의 쐐기 자유낙하실험 결과를 살펴보면 상승시간(trise)이 약 1×10^{-3}초 인 것으로 나타났으며, 이를 고려하여 상승시간을 100번 나눈 $dt=1\times10^{-5}$의 경우(Courant 수 : 0.006), 상승시간을 20번 나눈 5×10^{-5}의 경우(Courant 수 : 0.03), 10번 나눈 1×10^{-4}의 경우(Courant 수 : 0.06), 상승시간에 해당하는 시간간격인 1×10^{-3}의 경우(Courant 수 : 0.6)로 총 4가지 조건에서 계산을 수행하였다.

Table 3. Test conditions of the various grid systems

t_{rise}/dt	dt [s]	Courant number	△x, △y[m]
100	1×10^{-5}	0.006	0.005
20	5×10^{-5}	0.03	
10	1×10^{-4}	0.06	
1	1×10^{-3}	0.6	

시간간격에 따른 충격압력 계산결과를 Fig. 6에 보인다. 그림과 같이 t_{rise}/dt가 1인 경우 예상한대로 추정된 최대압력값이 실험값에 비해 상당히 낮게 추정한 것으로 나타났다.

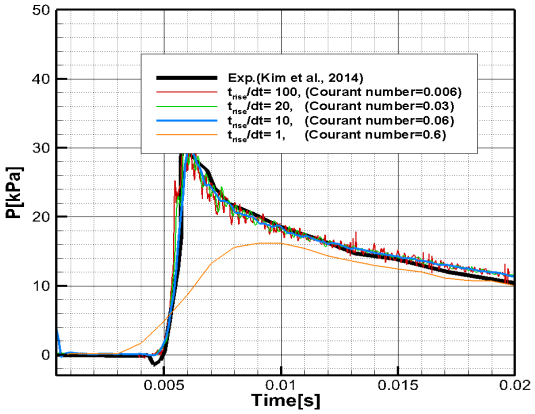


Fig. 6. Pressure time history of the various Courant number.

이를 제외한 모든 경우에서 압력 패턴이 모형시험 결과와 유사한 것을 알 수 있다. 특히, t_{rise}/dt가 20보다 큰 경우에서는 최대 압력값이 실험과 정량적으로도 잘 일치하는 것으로 나타났다. t_{rise}/dt가 10인 경우 피크 압력값이 약 30 kPa로 모형시험에 비해 약 10 % 정도 작게 나타났지만, 압력의 상

승시간 및 하강시간이 실험과 거의 동일하게 나타나, 수치계산의 효율성 관점에서는 t_{rise}/dt가 10인 경우의 결과도 의미가 있는 것으로 판단되어, 선박의 슬래밍 계산시 t_{rise}/dt를 10으로 사용하여, Courant 수를 0.06이 되도록 설정하였다.

4. 수치계산 결과

4.1 선수 압력

선수부의 압력을 살펴보기 위해 Fig. 7과 같이 길이방향으로 FP에서 부터 0.95St.까지 총 5구간으로 나누고, Z방향으로는 흘수를 기준으로 상방으로 4구간으로 나누어 총 24개 지점에서 압력을 조사하였다.

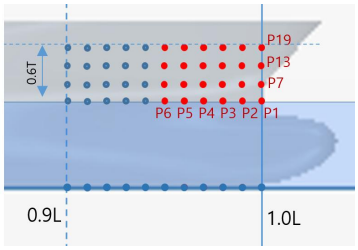
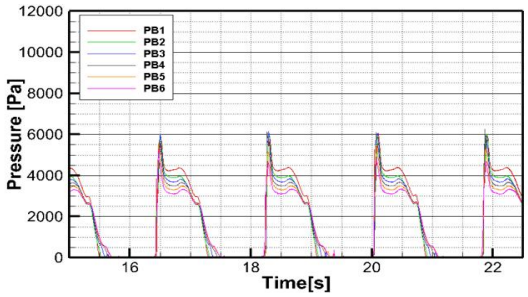
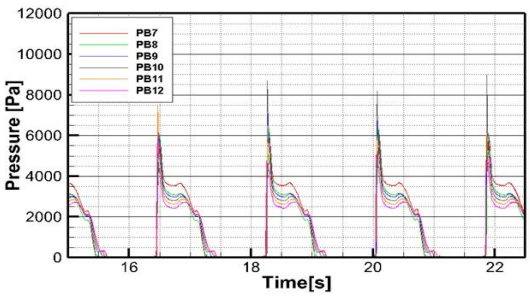


Fig. 7. Pressure gathering point of numerical simulation.

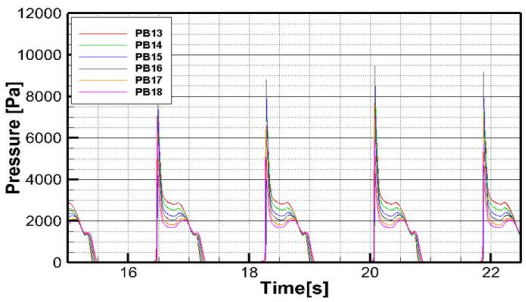
Fig. 8은 앞서 설명한 24개의 지점에서 시간에 따른 압력을 보여주고 있다. 자유수면 부근인 Fig. 8(a)에서는 대체적으로 6 kPa(실선기준 300 kPa) 정도의 충격압력들이 나타났으며, 그보다 위쪽영역에서는 Fig. 8(b, c, d)에서는 8 kPa(실선기준 360 kPa) 이상으로, 상대적으로 큰 충격하중이 계측되었다.



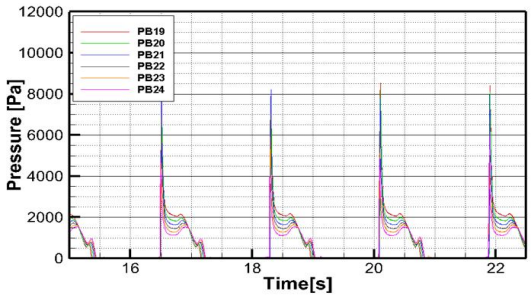
(a) Probe number of 1 - 6



(b) Probe number of 7 - 12



(c) Probe number of 13 - 18



(d) Probe number of 19 - 24

Fig. 8. Pressure time history of the specific point at head sea condition (180°).

이는 선박의 플레어 각이 증가한 것으로 판단된다. 또한 설계파에서 가장 높은 압력은 20.1초 부근에서 P16 지점에서 실선기준 475 kPa이 관찰되었다.

최대압력이 나타난 지점(PB16)에서의 시간에 따른 압력을 살펴보면 Fig. 9와 같다. 그림과 같이 압력이 일시적으로 크게 증가했다가 소멸되는 영역과, 충격이후에도 선수부가 자유수면 아래로 계속 입수하면서 지속적인 정압을 받는 영역으로 나눌 수 있다. 충격압력의 지속시간은 상승시간(t_{rise})와 하강시간(t_{drop})의 합으로 표현되며 약 0.055s(실선 0.38s)으로 나타났다.

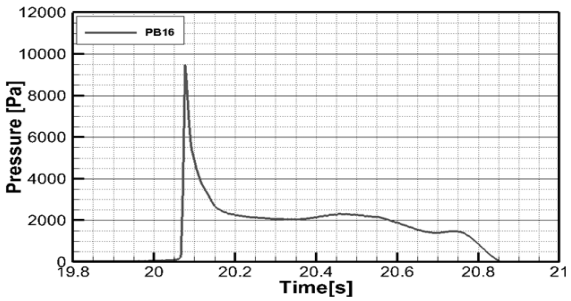
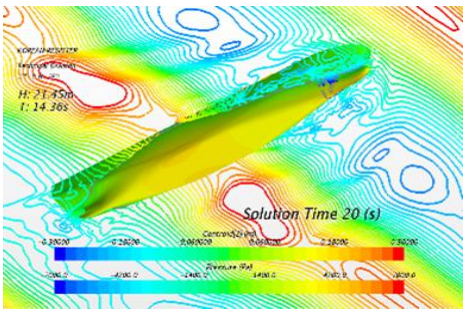


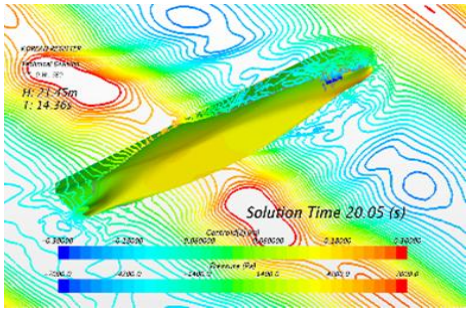
Fig. 9. Pressure time history of the P16 at head sea condition (180°).

Fig. 10은 압력이 가장 크게 발생된 20.1초 부근의 자유수면 및 선체표면 압력을 보여주고 있다. 그림과 같이 선수가

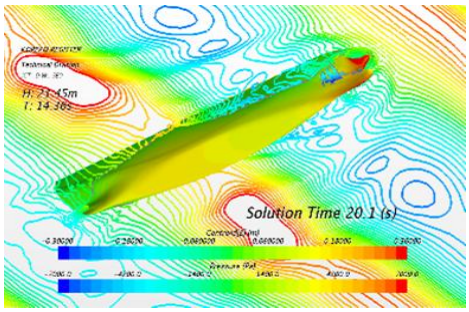
자유수면과 입수하면서 선수부의 압력이 증가하기 시작하여 t = 20.1초에서 Fig. 10(c)와 같이 슬래밍 충격하중이 짧은 시간동안 나타나 사라지고, Fig. 10(d) 이후 피치운동에 의해 선수부가 계속 입수하면서 정압만이 남게 된다.



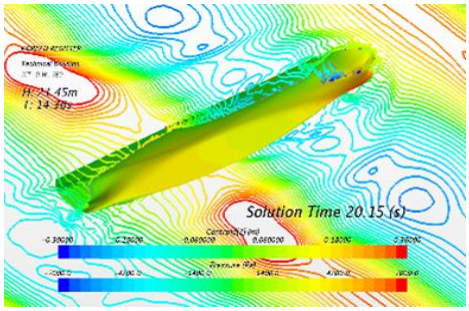
(a) t = 20.0s



(b) t = 20.05s



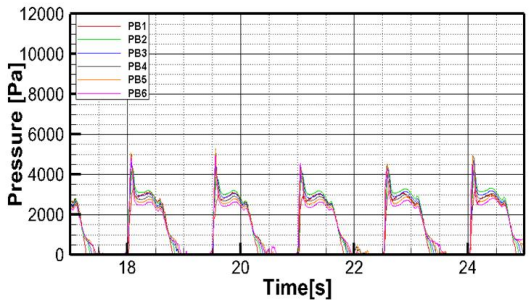
(c) t = 20.1s



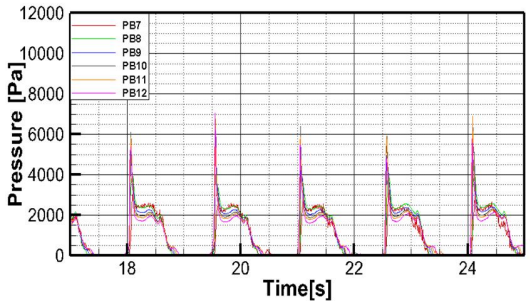
(d) t = 20.15s

Fig. 10. Pressure distributions and free surface at head sea condition (180°).

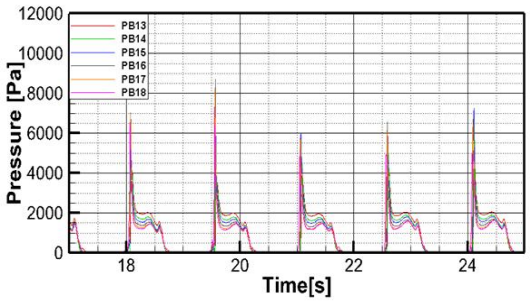
Fig. 11은 사파(120°)의 계산결과로 앞서 설명한 24개의 계측지점에서 시간에 따른 압력을 보여주고 있다. 자유수면 부근인 Fig. 11(a)에서는 대체적으로 5.4 kPa(실선기준 243 kPa) 정도의 충격압력들이 나타났으며, 그보다 상부영역에서는 Fig. (b, c, d)에서는 8 kPa(실선기준 360 kPa) 이상으로, 상대적으로 큰 충격하중이 계측되었다. 이는 선박의 플레어 각이 증가한 것으로 판단된다. 또한 설계파에서 가장 높은 압력은 19.56초에서 실선기준 387 kPa이 관찰되어 선수파 조건보다는 크지 않은 것을 알 수 있다. 즉 파향 120°에서 자유수면과 선수의 상대운동이 더 크더라도 최대 슬래밍 압력은 선수파조건에서 나타난 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 벌브를 갖는 선박의 경우 벌브로 인한 슬래밍 유동의 유효받음각의 증가로 선수파조건에서 더 큰 압력이 발생된 Rahaman and Akimoto(2012)의 결과와 동일한 경한 경향으로 보인다.



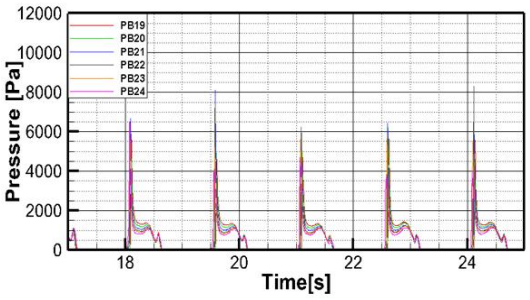
(a) Probe number of 1 - 6



(b) Probe number of 7 - 12



(c) Probe number of 13 - 18



(d) t = 20.15s

Fig. 11. Pressure time history of the specific point at head oblique condition (120°).

사파(120°) 조건에서 최대압력이 나타난 지점(PB16)에서의 시간에 따른 압력을 살펴보면 Fig. 12와 같다. 그림과 같이 압력이 일시적으로 크게 증가했다가 소멸되는 영역과, 충격 이후에도 선수부가 자유수면 아래로 계속 입수하면서 지속적인 정압을 받는 영역으로 나눌 수 있다. 충격압력의 지속시간은 선수파 조건에서와 마찬가지로 약 0.055s(실선 0.38s)으로 나타났다.

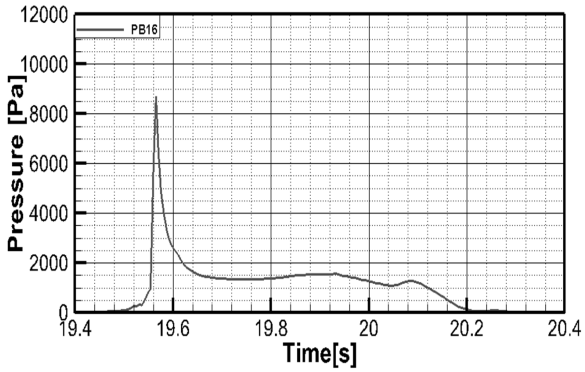
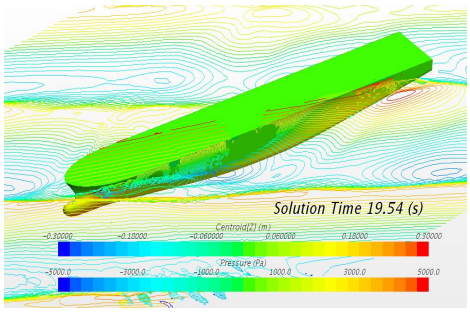
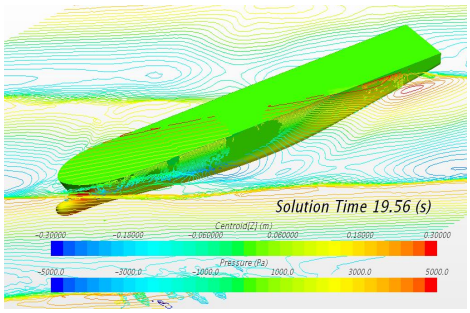


Fig. 12. Pressure time history of the P16 at oblique sea condition (120°).

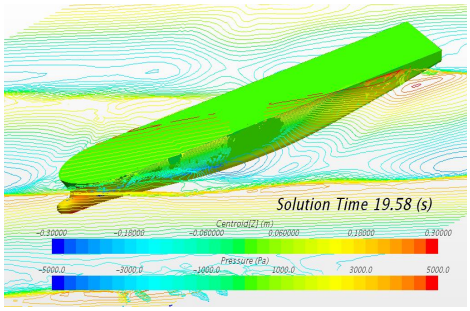
Fig. 13은 압력이 가장 크게 발생된 19.56초 부근의 자유수면 및 선체표면 압력을 보여주고 있다. 그림과 같이 선수가 횡동요에 의해 자유수면으로 입수하면서 선수부의 압력이 증가하기 시작하여 t = 19.56초에서 Fig. 13(b)와 같이 선수부에 슬래밍 충격하중이 짧은 시간동안 타나나 사라지고, Fig. 12(c, d)이후 횡동요에 의해 선수부가 계속 입수하면서 정압만이 남게 되는 것을 확인할 수 있다.



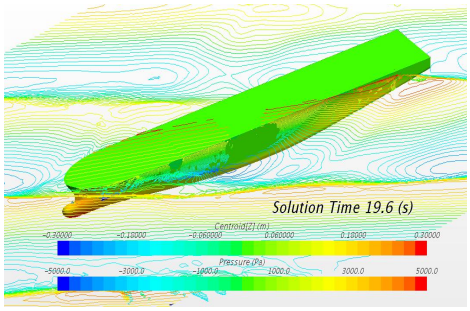
(a) t = 19.54s



(b) t = 19.56s



(c) t = 19.58s



(d) t = 19.6s

Fig. 13. Pressure distributions and free surface at oblique sea condition (120°).

5. 결 론

본 연구는 컨테이너선의 운동해석을 통해 극한 해상조건 파조건(선수파, 사파)을 선정하고 해당 조건에서 수치계산을

통해 선수 슬래밍 하중을 추정하였다. 본격적인 수행에 앞서 신뢰할만한 모형시험에 대해 계산의 유효성을 확인하였으며, 수치계산을 통해 선수 플레어 슬래밍 압력을 추정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 정확도 높은 수치계산의 결과를 얻기 위해서는 격자조밀도(B/Y_{cell})의 크기가 120 이상이 되어야 하며, 수치계산 시 시간간격은 충격압력의 상승시간(t_{rise})/dt > 10 이상이 되어야 하며, Courant 수는 0.06 이하가 되어야 한다.

2) 선수파 및 사파 두 조건 모두 최대 슬래밍 압력이 가장 크게 발생된 위치는 0.975St. 근방이며, 순간적으로 실선기준 475 kPa(선수파), 387 kPa(사파)의 큰 충격압력이 나타났다.

3) 사파(120°) 조건에서 선수부와 자유수면의 상대운동이 더 크더라도 최대 슬래밍 압력은 선수파(180°) 조건에서 나타났으며, 이는 벌브로 인한 슬래밍 유동의 유효받음각의 증가로 선수파조건에서 더 큰 압력이 발생된다는 기존연구결과와 동일한 경향을 갖는다.

4) 충격압력의 지속시간은 약 0.38s인 것으로 보이며, 또한 충격하중이 가해진 이후, 선수부가 자유수면으로 계속 입수하면서 정압이 지속되는 양상을 보였다.

향후 컨테이너선박의 대한 슬래밍 하중 추정에 관한 모형시험결과를 토대로 수치해석결과에 대한 비교 검증을 수행할 예정이며, 또한 CFD를 통해 추정된 압력을 바탕으로 동적 구조응답 해석을 통해 슬래밍 충격하중으로 인한 구조안전성 검토를 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 이공분야기초연구사업의 지원으로 수행되었습니다(NRF-2017R1D1A1B03036478).

References

[1] Abdussamie, N., W. Amin, R. Ojeda, G. Thomas and Y. Drobyshevski(2014), Vertical Wave-in-Deck Loading and Pressure Distribution on Fixed Horizontal Decks of Offshore Platforms, Proceedings of the 24th International Offshore and Polar Engineering, Busan, South Korea. International Society of Offshore and Polar Engineers.

[2] ABS(2002), A Direct Calculation Approach for Designing a ship-shaped FPSO's Bow Against Wave Slamming Load, Technical Report.

[3] Chen, C. R. and H. C. Chen(2014), CFD simulation of Extreme Slamming on a Containership in Random Waves, 24th International Ocean and Polar Engineering Conference, June 15-20, 2014, Korea.

[4] Dobrovol's kaya, Z. N.(1969), On some problems of similarity flow of fluids with a free surface, Journal of Fluid Mechanics, 36, pp. 805-829.

[5] Hong, S. Y., K. H. Kim, B. W. Kim and Y. S. Kim(2014), Experimental Study on the Bow-Flare Slamming of a 10,000 TEU Containership, International Society of Offshore and Polar Engineering Conference, Busan, Korea, ISOPE, 3, www.isope.org.

[6] Kim, K., Y. S. Shin and W. Wang(2008), A Stern Slamming Analysis Using Three-Dimensional CFD Simulation. The 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Estoril Portugal.

[7] Kim, K. H., D. Y. Lee, S. Y. Hong, Y. S. Kim and B. W. Kim(2014), Experimental Study of Water Impact Loads on Symmetric and Asymmetric Wedges, Journal of Ocean Engineering and Technology, 28(3), pp. 209-217.

[8] Peric, M. and T. Zorn(2015), Simulation of sloshing loads on moving tanks, 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, June 12-17, 2015, Greece.

[9] Rahaman, M. M. and H. Akimoto(2012), Analysis of the Mechanism of Slamming on the Bow Flare Region of a Container Ship by Using RANS CFD Method, 22nd International Ocean and Polar Engineering Conference, June 17-23, 2012, Rhodes, Greece.

[10] Seo, D. W., G. Y. Jeon and K. H. Song(2018), A Comparative Study on the Prediction of Bow Flare Slamming load using CFD and Prescript Formula for the Container Ship, Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, 4(4), pp. 204-216.

[11] Von Kármàn, T.(1929), The impact on sea plane floats during landing. National Advisory Committee for Aeronautics. Technical Note No 321, pp. 309-313.

[12] Wang, S. and C. G. Soares(2012), Analysis of the Water Impact of Symmetric Wedges with a Multimaterial Eulerian Formulation. The International of Journal of Marine Engineering, 154(A4), pp. 191-206.

[13] Wang, S. and C. G. Soares(2016), Stern slamming of chemical tanker in irregular head waves, Ocean Engineering, 122, pp. 322-332

[14] Zhao, R., O. Faltinsen and J. Aarsnes(1996), Water entry of arbitrary two-dimensional sections with and without flow separation, Proceedings of the 21st Symposium on Naval Hydrodynamics, pp. 408-423.

[15] Zhao, R. and O. Faltinsen(1998), Water Entry of Arbitrary Axisymmetric Bodies With and Without Flow Separation, Proceedings of the 22nd Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington D.C., USA, pp. 652-664.

Received : 2019. 05. 29.
Revised : 2019. 06. 21.
Accepted : 2019. 06. 27.