

심흘수 반잠수식 해양구조물(DDS) 형상 개발 연구

이진호* · 이준영** · 김병우*

*삼성중공업 조선해양연구소

**삼성중공업 해양기본설계

Development of Deep Draught Semisubmersible Shape

JIN-HO LEE*, JUNE-YOUNG LEE** AND BYUNG-WOO KIM*

*Samsung Heavy Industry Ltd, Marine Research Institute, Koje, Korea

**Samsung Heavy Industry Ltd, Offshore Engineering Team, Koje, Korea

KEY WORDS: Deep draught semisubmersible 심흘수 반잠수식 해양구조물, Heave motion response 상하운동응답, Down-time 휴지 시간, Heave damper 상하운동저감구조물, Column size 컬럼사이즈

ABSTRACT: This paper treats the development of a new type of deep draught semisubmersible offshore structural shape that has excellent heave motion response and less down-time. This new type of semisubmersible shape is characterized by heave dampers at each pontoon corner and appropriate column size adjustment to achieve the desired cancellation and resonance motion period. It was found that the final model had efficient workability, based on the wavescatter diagrams for the GoM and North Atlantic ocean, due to less heave motion, although the specific heave response at the 100 year return period wave condition in the North Atlantic was more or less increased.

1. 서 론

석유, 가스등의 해저 자원을 생산하는 장비로는 FPSO, SPAR, TLP 및 반잠수식 해양 구조물(Semisubmersible) 등을 열거할 수 있다. 이 중에서도 수심 및 환경 해역 조건에 가장 덜 민감한 구조물로서 반잠수식 해양 구조물이 각광을 받고 있다. 본 구조물의 특징으로는 1,500m 이상의 대수심의 유정 개발에도 쉽게 이용 가능하며, 특히, 적은 수선 면적에 비해 큰 질량체를 수면 하부에 가지고 있어서 Added mass의 효과에 의해 Heave의 공진 주기를 일반 해역의 파랑 주기에서 이탈 시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만, TLP 및 SPAR와의 Heave 운동을 비교해 볼 때, 일반적인 반잠수식 구조물로서는 그 성능을 올리는데 한계가 있으며, 이를 극복하기 위해서 구조물의 흘수를 깊게 가져가는 DDS(Deep draft semis) type이 주목받게 되었다(Hong et al., 2008; Hu et al., 1991).

본 논문에서는 소형 유전 개발 수준의 배수량 30,000ton 가량의 DDS type의 반잠수식 해양 구조물 개발 연구를 수행하였으며, 개발 방향은 해역에서의 작업성 향상을 위한 우수한 Heave 운동 성능을 가지도록 설정하였다. Heave 운동의 고유 주기 및 Cancellation period에 영향을 주는 수선면적, 구조물 질량, 부가 질량 및 흘수 등의 인자 변화에 따른 운동 RAO 및 응답을 고찰하여 해역에서의 작업성을 높이는 최적의 형상을 찾는데 주력하였다.

2. 초기 모델

본 연구를 위해서 Fig. 1과 같은 2개의 초기 모델을 설정하였다. 각각의 모델은 삼성중공업과 서울대에서 개발한 모델로서 모두 Ring pontoon 및 4 Column으로 구성되어 있다. SHI_OPTI의 경우는 Column 형상이 2단으로 되어 있는 특징이 있으며, 본 모델을 만들기 위해서 형상 자동 최적화 설계 시스템을 도입하였다(Lee, 2004; Lee and Lim, 2008). SNU_OPTI는 폰톤의 모서리 부분에 돌출부의 damper가 설치되어 운동을 저감시키고자 하였다(서울대 보고서 2005).

두 모델의 Draft 및 Displacement 정보는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

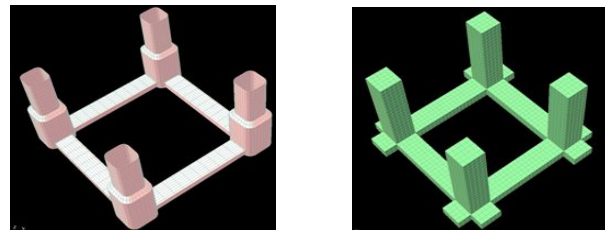


Fig. 1 Initial model (Left : SHI_OPTI, right : SNU_OPTI)

Table 1 Draft and displacement information for initial model

Model	Draft (m)	Disp. (ton)
SHI_OPTI	42.3	30485.76
SNU_OPTI	35.0	30448.53

교신저자 이진호: 경상남도 거제시 삼성중공업

055-630-5354 jh1225.lee@samsung.com

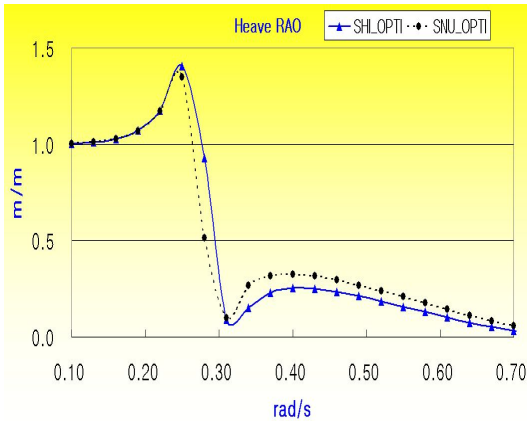


Fig. 2 Heave motion RAO (SHI_OPTI & SNU_OPTI)

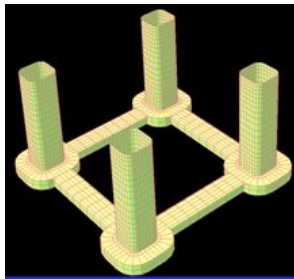


Fig. 3 New type model (SHI_SNU)

Fig. 2에는 두 모델의 Heave RAO 계산 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 고유 주기 및 Cancellation period를 확인할 수 있으며, 파주파수 0.3rad/s 이상의 운동 특성에서는 SHI_OPTI의 RAO 진폭이 낮음을 알 수 있는데, 이는 깊은 홀수의 효과에 의한 특성으로 판단되어진다.

3. 최적 형상 개발 방향

초기 모델보다 우수한 운동 성능을 가지는 모델을 개발하기 위해서는 대상 해역의 파랑 주기에 주의해야 할 필요가 있다. 즉, Peak 주기를 중심으로 한 파랑 에너지를 피하도록 운동 RAO의 고유 주기 및 Cancellation period를 조절해야 한다.

본 개발 모델의 경우, 앞 장의 2개의 초기 모델과 비슷한 30,000ton정도의 배수량을 가지며, 각 모델의 장점을 도입하여 Fig. 3와 같은 형상을 구성하였다. 우선, Yard내 제작성을 고려하여 SHI_OPTI의 2단 Column 형상을 1단 Column 형상으로 치환하였으며, SNU_OPTI의 Pontoon corner부 Damper를 도입하여 Heave 공진 진폭 저감 및 Stability를 유리하게 하도록 하였다. 본 장에서는 Fig. 3의 모델 형상을 기본으로 최적의 Column 및 Heave damper 사이즈를 구하였다.

3.1 대상 해역

반잠수식 해양 구조물이 주로 설치되는 해역으로서 미국의 GoM 및 유럽의 North Atlantic을 본 논문의 대상 해역으로 설

Table 2 Wave condition (100 year return period)

Sea	Hs	Peak period	Zero up period
GoM	12.2 m	14.2 s (0.44 rad/s)	10.08 s
North Atlantic	16.0 m	20.2 s (0.31 rad/s)	14.3 s

Table 3 Draft and displacement information for new model (different column size)

Model	Draft (m)	Disp. (ton)	Ref.
SHI_SNU1	37.6	30800.63	-Same heave damper
SHI_SNU2	34.0	31126.68	-Larger water plan area of SHI_SNU2

정하였다. Table 2는 두 해역의 100년 반복 주기 조건의 유의파고 및 주기를 나타낸다. 표에서 보듯이 North Atlantic 해역의 파고 및 주기가 GoM보다 거칠게 평가됨을 알 수 있다.

상기 파랑 조건에 근거해서 100년 반복 주기 조건에서의 구조물의 운동 안전성을 유리하게 가져가는 운동 고유 주기를 결정할 수 있지만, 두 해역의 파랑 Peak 주기가 크게 차이가 나기 때문에 모두 만족하는 수면 하부 형상은 존재할 수 없다. 아울러, 한 해역에 있어서도 태풍 상황의 Survival 조건에서 유리한 Heave 운동의 고유 주기를 결정함과 동시에 작업 Operation 조를 유리하게 하는 Cancellation period를 조절해야 할 것이다. 일반적으로 고유 주기 및 Cancellation period는 수선 면적, 구조물 질량, Added mass 및 홀수의 함수로 결정되어진다. 본 연구에서는 초기 모델의 고유 주기 및 Cancellation period를 짧은 방향으로 적절하게 이동하는 것이 두 해역의 작업성 관점에서 유리하다고 판단하였으며, 여기에 맞추어 적절한 Column 사이즈 및 Damper 사이즈를 검토하였다.

3.2 Column 사이즈 비교

아래 식 (1)에서 보듯이 수선 면적에 영향을 주는 column 사이즈는 Heave의 고유 주기를 결정하는 중요인자이다(Faltinsen, 1990).

$$\omega_n = \left(\frac{\rho g A_w}{M + A_{33}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, A_w 는 수선면적, M 은 질량, A_{33} 는 Heave added mass이다.

초기 모델 SHI_OPTI의 Column을 기준으로 2가지 경우의 Column 사이즈 (Heave damper 사이즈 동일)에 대한 홀수 및 배수량을 Table 3에 나타내었다.

두 가지 경우의 Heave RAO 계산 결과는 Fig. 4에 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 동일 배수량으로 가정할 경우, SHI_SNU1 및 SHI_SNU2 모델의 수선 면적이 초기 모델보다 커져서 Heave 운동의 고유 주기가 초기 모델에 비해 짧아졌음을 알 수 있을 뿐만 아니라, 이 중에서도 수선 면적이 작은 SHI_SNU1이 SHI_SNU2보다 운동 고유 주기가 길어짐을 알 수

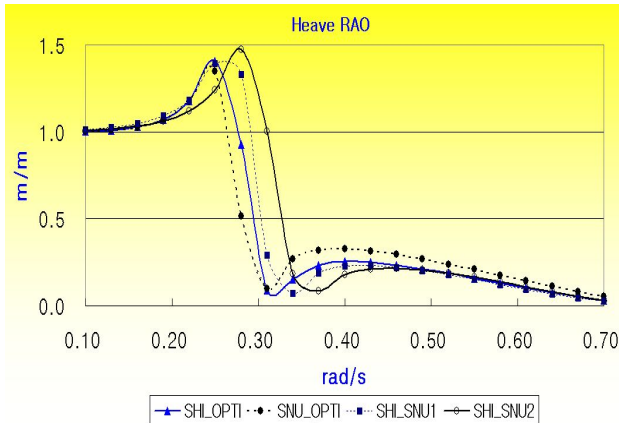


Fig. 4 Heave motion RAO (SHI_OPTI, SNU_OPTI, SHI_SNU1 and SHI_SNU2)

Table 4 Draft and displacement information for new model (different heave damper size)

Model	Draft (m)	Disp. (ton)	Ref.
SHI_SNU2	34.0	31126.68	-Same column size
SHI_SNU3	36.0	31604.01	-Larger damper of SHI_SNU2

있다. North Atlantic 및 GoM 해역의 Peak 파랑 주기를 고려한다면, 운동 응답 관점에서는 SHI_SNU1이 유리하다고 판단된다.

3.3 Heave Damper 사이즈 비교

본 절은 Column 사이즈를 SHI_SNU2에 맞추어 동일하게 가정하고 Heave damper 사이즈의 변화에 따른 Heave 운동 RAO를 고찰한다. Table 4은 두 가지 경우의 흘수 및 배수량을 나타낸다.

Cancellation period는 아래의 약산식 (2)에 의해 구하여진다 (Faltinsen, 1990). 동일 고유 주기를 가질 경우, 흘수가 클수록 Cancellation period는 짧아짐을 알 수 있다.

$$\omega_c = \frac{\omega_n}{(1 - |Z_m| \omega_n^2 / g)^{1/2}} \tag{2}$$

여기서, Z_m 은 수면에서부터 폰툰의 기하학적인 중심까지의 거리이다.

Fig 5에서는 Heave damper 사이즈 변화에 따른 Heave RAO의 결과를 볼 수 있다. 예상한대로 흘수가 큰 SHI_SNU3의 Cancellation period가 SHI_SNU2보다 짧음을 알 수 있으며, 운동 응답 관점에서 SHI_SNU1, 2 및 3의 성능을 비교하자면, 대상 해역의 Peak wave 주기를 고려하여, SHI_SNU1 모델이 가장 우수하다고 판단된다. 즉, Column 사이즈를 적절하게 감소시키면서, Heave damper 사이즈를 적절하게 증가시키는 방향이 유리함을 알 수 있다.

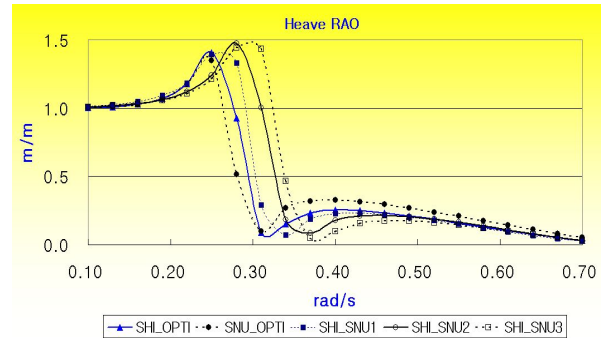


Fig. 5 Heave motion RAO (SHI_OPTI, SNU_OPTI, SHI_SNU1, SHI_SNU2 and SHI_SNU3)

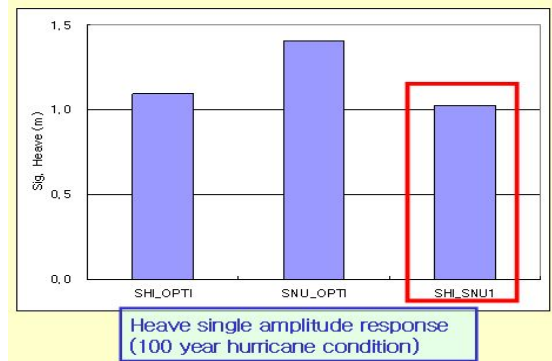


Fig. 6 Single amplitude heave response at GoM (SHI_OPTI, SNU_OPTI and SHI_SNU1)

4. 개발 모델 평가

SHI_SNU1모델의 성능을 검증하기 위해서 초기 모델과의 비교 검토가 아래의 두 가지 관점에서 수행되어진다.

4.1 운동 응답 관점(Survival 조건의 단일 파랑 스펙트럼 이용)

본 절에서는 3.1절에 제시한 100년 반복 주기 파랑 조건에서의 Heave 운동 응답을 초기 모델 및 SHI_SNU1모델에서 비교한다. 본 절에서의 검토 방법은 두 해역의 단일 파랑 스펙트럼만으로 고찰하는 것으로서 국부적 응답 결과를 제시한다. Fig. 6에서는 GoM해역의 초기 모델 및 New type 모델 SHI_SNU1에서의 단일 진폭 상하 운동 응답의 결과를 보여준다. 운동 응답의 Cancellation period가 제일 짧은 SHI_SNU1의 유의치가 제일 양호함을 알 수 있다. 그 원인으로서 수선면적, 흘수 및 Damper의 영향이 모두 포함되어진다고 사료된다.

Fig. 7에서는 North Atlantic 해역에서의 운동 응답 결과를 나타내고 있으며, 결과에서 보듯이 Heave 운동 응답의 고유 주기가 제일 긴 SNU_OPTI의 운동 응답치가 제일 양호함을 알 수 있다. 앞서서도 언급하였듯이, 두 해역의 Peak 파랑 주기가 많이 떨어져 있기 때문에, 100년 반복 주기 파랑 조건에서 두 해역을 모두 만족시키는 형상을 생성하는 것은 불가능하다. 본 절에서의 국부적인 운동 응답 계산과 병행해서 Wave scatter diagram을 이용한 전체적인 운동 응답 해석을 다음 절에서 설명한다.

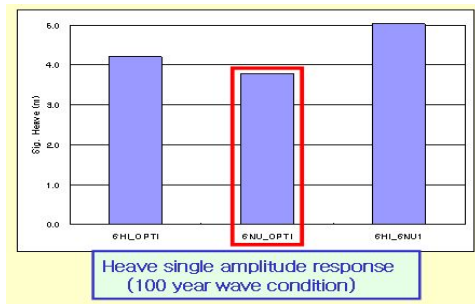


Fig. 7 Single amplitude heave response at North Atlantic (SHI_OPTI, SNU_OPTI and SHI_SNU1)

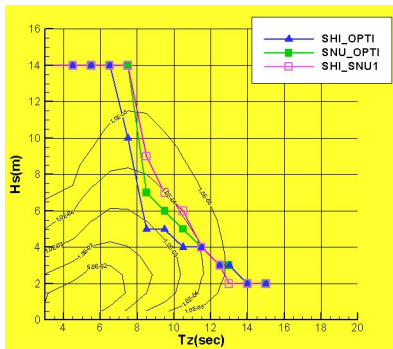


Fig. 8 Workability plot at GoM (SHI_OPTI, SNU_OPTI and SHI_SNU1)

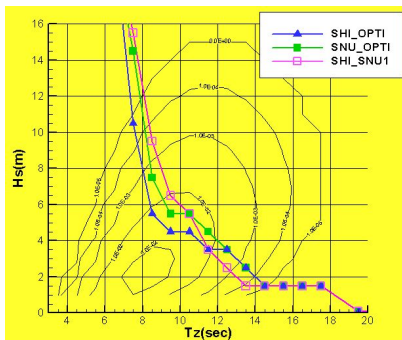


Fig. 9 Workability plot at North Atlantic (SHI_OPTI, SNU_OPTI and SHI_SNU1)

4.2 작업성 관점(Wave Scatter Diagram 이용)

본 절에서는 두 해역의 Wave scatter diagram을 이용하여 초기 모델 및 개발 모델에 대한 작업성 평가를 수행하였다. 평가 기준으로는 단일 진폭 상하 운동의 유의 응답치가 0.5m 미만 일 때, 작업 가능한 것으로 가정하였다(Clauss et al. ,1992). Fig. 8과 Fig.9는 각각 GoM 및 North Atlantic해역에서의 3가지 모델에 대한 Workability plot을 보여주고 있으며, 그림 내의 경계선 기준으로 왼쪽 영역이 클수록 작업성은 더 양호한 결과를 보인다. GoM 해역의 경우 전반적으로 SHI_SNU1의 작업성이 우수한 반면에, North Atlantic 해역에 있어서는 $T_z=12$ 초 이상의 장주기 영역에서는 작업성이 떨어지지만, 이 영역의 Wave energy가 크지 않기 때문에, 전체적인 작업성 관점에서는 SHI_SNU1형상이

Table 5 Down-time rate (SHI_OPTI, SNU_OPTI and SHI_SNU1)

Sea	Model	SHI_OPTI	SNU_OPTI	SHI_SNU1
GoM		0.094%	0.287%	0.048%
North Atlantic		12.53%	20.09%	12.45%

3가지 모델 중에서 가장 우수한 것으로 판단되며 Table 5에 가동 휴지 시간(Down-time)의 결과를 나타내고 있으며, SHI_SNU1의 휴지 시간이 제일 낮게 평가 되었다.

5. 결 론

- 본 논문을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.
- (1) Column 사이즈 및 Heave damper 사이즈 최적화에 의한 운동 응답이 우수한 DDS type의 해양 구조물 SHI_SNU1을 개발하였다.
 - (2) 국부적인 운동 응답 결과, GoM에서의 heave운동은 SHI_SNU1이 제일 양호하며, North Atlantic에서는 SNU_OPTI가 제일 양호하다.
 - (3) GoM 및 North Atlantic 해역의 Wave scatter diagram을 이용한 전체적인 Down-time rate를 검토한 결과, SHI_SNU1 모델이 초기 모델 보다 가동 휴지 시간이 제일 낮게 평가되었다.

참 고 문 헌

서울대학교 보고서 (2005). 신형식 해양 구조물 개발을 위한 최적화 설계 기법 적용 연구.

Clauss, G., Eike Lehmann, E. and Ostergaard, C. (1992). Offshore Structures - Volume I Conceptual Design and Hydromechanics, Springer-Verlad London Limited.

Faltinsen, O.M. (1990). Sea Loads on Ships and Offshore Structures, Cambridge University Press.

Hong, Y., Choi, Y., Lee, J. and Kim Y. (2008). "Vortex-Induced Motion of a Deep-Draft Semi-Submersible in Current and Waves", International Offshore and Polar Engineering Conference, pp 453-459.

Hu, C., Williams, J.R. and Walker, S. (1991). "The Design of a Variable Draught Semi-submersible Floating Production Vessel", Presented at FPS -Blueprints for the 90s, Monte-Carlo.

Lee, J.Y. (2004). Entwurf von Offshore-Strukturen unter Einsatz Globaler Optimierungsstrategien, Technische Universitaet Berlin.

Lee, J.Y. and Lim S.J. (2008). "Hull Form Optimization of a Tension-Leg Platform Based on Coupled Analysis", International Offshore and Polar Engineering Conference, pp 100-107.

2008년 7월 9일 원고 접수
2008년 8월 28일 최종 수정본 채택