

Step Bilge가 FPSO의 운동에 미치는 영향

원운상^{*} · 심달진^{*} · 김진기^{*} · 유우준^{**} · 양희준^{**}

^{*}삼성중공업 특수선기술영업팀

^{**}삼성중공업 조선플랜트연구소

Effect of Step Bilge on Motion Characteristics of FPSO

Y. S. WON^{*}, D. J. SIM^{*}, J. K. KIM^{*}, W. J. YOO^{**} AND H. J. YANG^{**}

^{*}Sales Engineering Team, Samsung Heavy Industries Co., Ltd., Koje 656-710, Korea

^{**}SSMB, Samsung Heavy Industries Co., Ltd., Taejeon 305-380, Korea

KEY WORDS: FPSO, Motion performance 운동성능, Step bilge 스텝빌지, Motion test 모형시험

ABSTRACT: This paper describes the effect of step bilge on motion characteristics of FPSO. The purpose of the present study is to investigate motion responses of FPSO with two types of step bilge. Model test result shows that the performance of the bottom type step bilge, that is designed to avoid collision, is as good as that of the side type step bilge.

1. 서 론

최근 가스전을 중심으로 FPSO 또는 FSO의 선측에서 가스운반선의 선측으로 바로 하역하려는 움직임이 활발하다. 그렇게 하기 위해서는, 투입될 해역 상태가 온화해야 하고, 해상저장시설과 가스운반선의 운동응답 자체가 작아야 한다. 또한, 두 선박이 매우 가까이 위치하게 되므로 운동응답의 위상차에 따른 빌지(bilge) 부분의 충돌 위험 또한 중요한 관심의 대상이 된다.

운동응답을 줄이기 위한 연구는 빌지(bilge)에 대하여 많이 이루어져 왔다. Ikeda 등(1976, 1978)의 연구 결과는 현재까지 내항성능 계산에 널리 이용되고 있으며, Vugt(1976)가 수행한 모형시험 결과가, 해양구조물에 적용하기 위하여 이 등(2000)에 의하여 확장되었다. 한편 노르웨이 Navis 사의 특허 기술인 스텝빌지(step bilge)는, 선박의 운동응답을 효과적으로 줄여주고 있는 것으로 알려져 있으나, 빌지 부분이 돌출된 단면구조를 가지므로 측면으로 계류될 경우 충돌 위험은 상대적으로 높다고 할 수 있다. 삼성중공업은 기존의 이차원 시험결과와 스텝빌지를 접목하여 설계에 적용하기 위한 연구(최 등, 2000)을 최근 수행한 바 있다.

본 논문에서는 기존의 연구 결과들을 바탕으로 모형시험을 통하여 스텝빌지가 운동응답에 미치는 영향을 조사하고 그 효과를 살리면서 충돌위험을 없애기 위하여 연직 하방으로 설계한 새로운 스텝빌지에 대하여 논한다.

2. 선형 선택

2.1 스텝빌지

서론에서 이미 언급한 바 있는 운동응답이 작은 선박의 한 예로, 삼성중공업이 Navis 사로부터 수주하여, DnV에 입급하고 건조한 70,000 DWT 드릴쉽(Drillship)을 간단히 소개한다.(Photo 1)

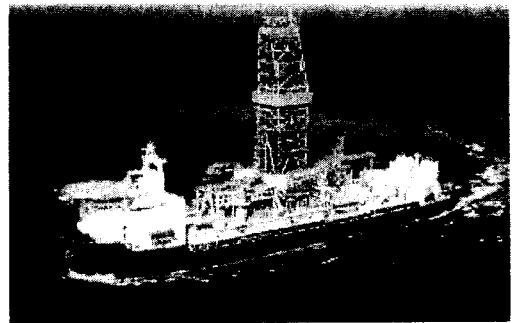


Photo 1 70,000 DWT Drillship for Navis

본선은 수심 10,000 ft까지 채굴이 가능하며, 12 knots의 속력으로 이동하여 재보급 없이 100일간 작업을 계속할 수 있다. 선미 하역 방식이며, 90,000 barrel을 저장할 수 있고, 300,000 barrel을 저장할 수 있는 FPSO로 개조가 용이하도록 설계되어 있다.

또한 내항성능 확보를 위하여 세 개의 문풀(moonpool)과 스텝빌지라고 불리는 상자형의 빌지용골(bilge keel)을 가진 독특한 선형으로 설계되었다.

스텝빌지는 선주사의 특허 기술로서, 동유체력을 크게 유도하고, 공진주기를 길게 만들어, 해양파와의 공진 가능성을 줄임으로서 운동응답을 효과적으로 줄여 주며, 문풀에 비하여 그 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 이는 모형시험을 통하여 일차 검증된 바 있으며 현재 선주사 측에서 실선 계측이 계속되고 있다.

2.2 검토 선형

스텝빌지의 단점은 돌출된 단면구조를 가짐으로 해서 측면으로 계류될 경우 충돌 위험이 상대적으로 높다는 것인데, 감쇠계수는 빌지용골의 방향보다는 그 크기에 가장 크게 영향을 받으므로(이 등, 2000), 스텝빌지의 효과를 살리면서 충돌 위험을 배제하기 위해서는 선저면으로 스텝빌지를 설치하는 것이 검토될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 원형 빌지(Fig.1)를 기준으로 Navis 사의 설계인 선측형 스텝빌지(Fig. 2)와 선저형 스텝빌지(Fig. 3)를 비교하기로 한다.

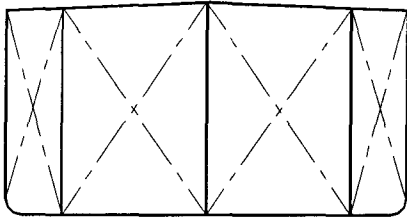


Fig. 1 Conventional arc bilge

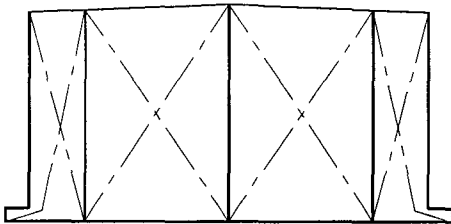


Fig. 2 Side (Navis) type step bilge

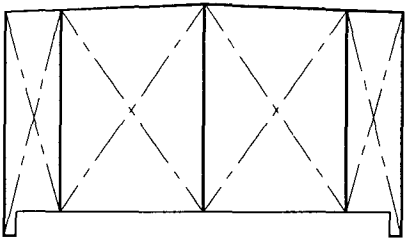


Fig. 3 Bottom type step bilge

두 가지 스텝빌지는 중앙평행부에만 설치되었고, 그 크기는 같으며(실선에서 3.0 m x 1.5 m), 모형 시험의 편의를 위하여 원형 빌지에 착탈식으로 교환하여 부착하도록 제작되었다.

3. 모형시험

3.1 모형시험 방법

스텝빌지의 운동성능 비교를 위하여 선박형의 FPSO에 대하여 밸러스트(ballast) 홀수와 만재(full load) 홀수에 대하여 파랑 중 운동시험을 실시하였다. 대표적인 모형시험 사진을 Photo 2와 Photo 3에 보였다.

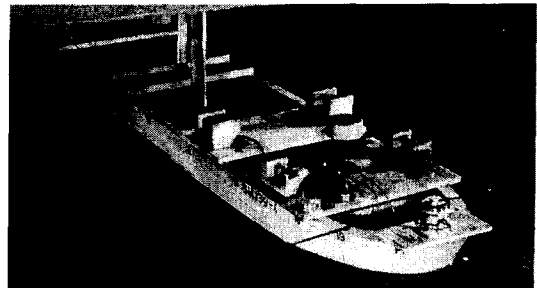


Photo 2 Side type step bilge (full load draught)

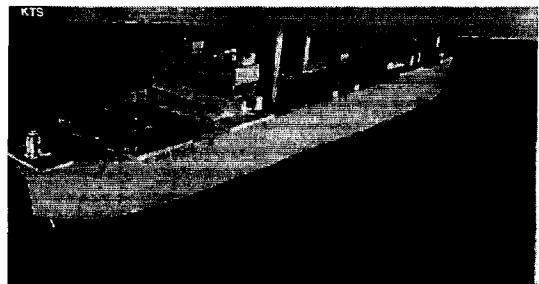


Photo 3 Bottom type step bilge (ballast draught)

운동응답함수(RAO)를 도출하기 위하여 횡파 중에서 일련의 규칙파 중 운동시험을 실시하였고, Table 1과 같은 조건에서 장파정불규칙파 중 운동시험을 시험하였다.

Table 1 Sea state conditions

	Case 1	Case 2
$H_{1/3}$ (m)	2.9	5.9
T_p (sec)	9.1	11.1
Heading angle	180° (head sea) 135° (bow quartering sea) 90° (starboard beam sea)	

3.2 모형시험 결과

Fig. 4와 Fig. 7에 파 스펙트럼과 규칙파 중 운동시험을 통하여 얻어낸 횡파 중 횡동요 응답함수의 분포를 나타내었으며, 이를 Table 2에 다시 정리하였다.

Table 2 Effect of step bilges on roll natural periods

Draught		Ballast	Full load
Conventional arc bilge	Value	7.3 deg/m	9.6 deg/m
	Period	16.6 sec	20.8 sec
Side type step bilge	Value	3.9 deg/m	4.1 deg/m
	Period	18.0 sec	22.8 sec
Bottom type step bilge	Value	4.6 deg/m	4.9 deg/m
	Period	17.5 sec	22.2 sec

공진점의 관점에서, RAO의 최대값은 만재 홀수에서의 값들이 더 높지만 파의 최대값주기에서 충분히 멀리 있으므로, 밸러스트 홀수에서 더 큰 운동응답을 보일 것이며, 만재 홀수에서는 각 선형 사이의 차이가 매우 작을 것임을 예상할 수 있다. 또한 선저형이 선측형보다는 못하지만 상당히 효과적으로 운동응답을 줄여줄 수 있다는 것도 알 수 있다. 이는 RAO의 크기보다는 선저형도 매우 충분한 만큼의 양으로 공진주기를 옮겨 줄 수 있다는 데에 근거한다.

Fig.5와 Fig.8에 장과정불규칙파 중의 횡동요 운동응답을 파입사각에 대하여 200개 진폭 중 최대기대값으로 나타내었다. 예상했던 바와 같이 만재 홀수에서는 선형별 차이가 없으나 밸러스트 홀수에서는 두드러진 차이를 볼 수 있으며, 선수파에서 횡파로 갈수록 선측형 스텝빌지의 효과가 선저형에 비하여 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 기존의 연구 결과와도 잘 일치한다. 하지만 계류상태에서 FPSO는 기상에 따라 선수각을 바꾸므로 선수사파(135도) 내에서 파입사각이 유지될 수 있다고 할 때, 두 스텝빌지의 효과는 크게 다르지 않다고 할 수 있다.

한편, Fig. 6과 Fig. 9에 중동요 운동응답을 횡동요와 마찬가지로 나타내었는데, 여기서 한 가지 흥미로운 결과를 볼 수 있다. 만재 홀수에서 선측형의 중동요 운동응답이 선저형에 비하여 크게 나타난 것이다. 밸러스트 홀수에서 차이가 없는 것으로 미루어 작은 각의 차이를 계측했기 때문에 생긴 모형시험 오류로 생각할 수도 있겠지만 선수각과 각 해상상태에서 같은 경향을 보이고 있는 것으로 보아 이에 대해서는 좀 더 체계적인 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서, 선측형과 선저형의 두 가지 스텝빌지에 대하여 파랑 중 모형시험을 실시하였다.

운동응답으로 볼 때, 횡동요에 있어서는 선저형에 비하여 선측형이 우수하나 선수사파 이내에서는 큰 차이가 없다, 또한, 중동요에 있어서는 선측형에 비하여 선저형이 다소 효과적일 수도 있으며 이에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

이상에서, FPSO가 선수사파 이내로 선수각을 유지할 수 있다고 하면 선저형의 스텝빌지가 운동응답을 충분히 줄이면서 충돌위험을 배제하는 방법으로 충분히 고려될 수 있다고 하겠다.

참고문헌

- 이우창, 나정현, 신현수, 박인규(2000). "Bilge Keel의 형상변화에 따른 Roll 감쇠계수 추정", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 108~112.
- 최항순, 진영민, 김기훈, 이동환(2000). "LNG-FPSO 특수선의 운동 및 횡동요 해석", 삼성중공업 위탁연구 보고서, 서울대학교 공학연구소.
- Hooft, J. P.(1982). *Advanced dynamics of marine structures*, John Wiley & Sons.
- Ikeda, Y., Himeno, Y. and Tanaka N.(1976). "On Roll Damping Force of Ship - Effect of Friction of Hull and Normal Force of Bilge Keels", *Journal of Kansai Society of Naval Architecture*, No. 161.
- Ikeda, Y., Himeno, Y. and Tanaka N.(1978). "Component of Rolling Damping of a Ship at Forward Speed", *Journal of Society of Naval Architecture of Japan*, No. 143, pp. 113~125.
- Lloyd, A. R. J. M.(1989). *Seakeeping: Ship behaviour in rough weather*, John Wiley & Sons.
- Vugt, J. H.(1970). "The Hydrodynamic Coefficients for Swaying, Heaving and Rolling Cylinders in a Free Surface", *Netherlands Ship Research Center T.N.O., Report*, No. 112S.

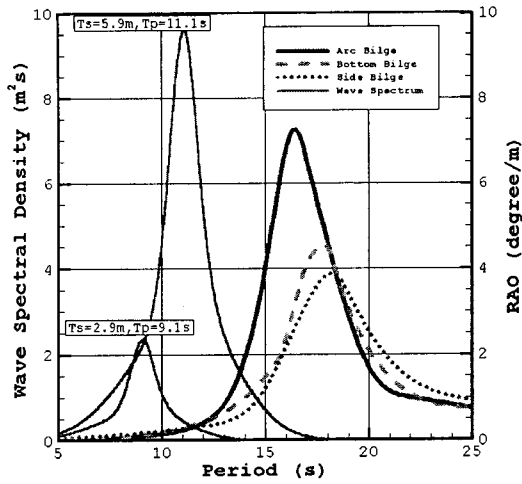


Fig. 4 Roll RAOs in ballast draught

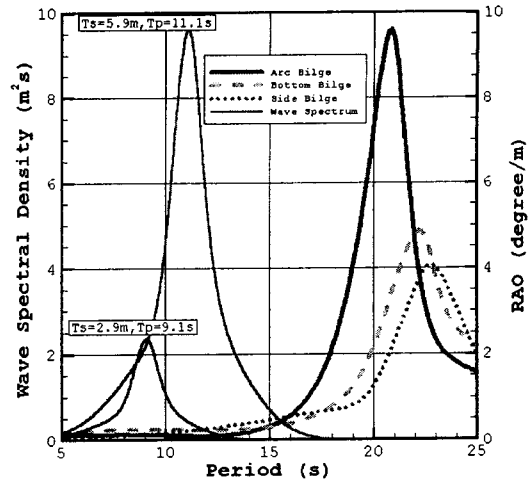


Fig. 7 Roll RAOs in full load draught

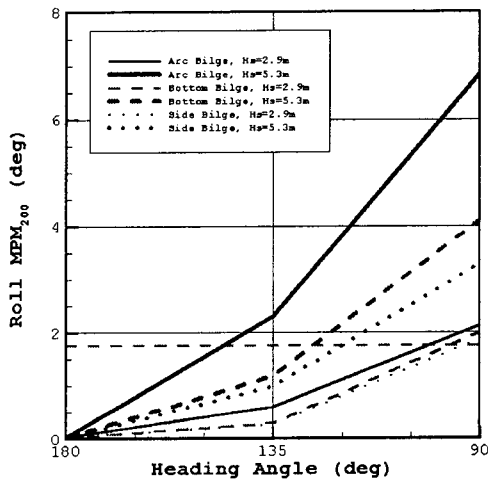


Fig. 5 Roll response in ballast draught

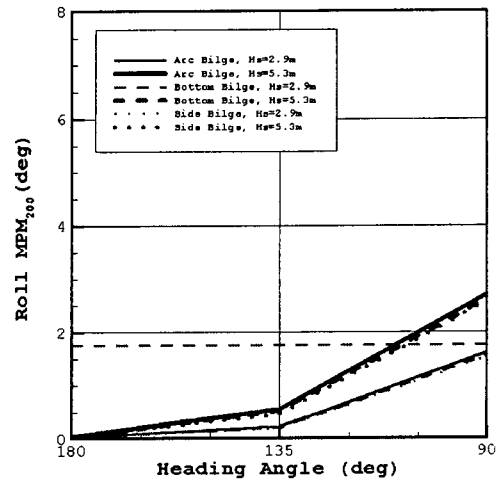


Fig. 8 Roll response in full load draught

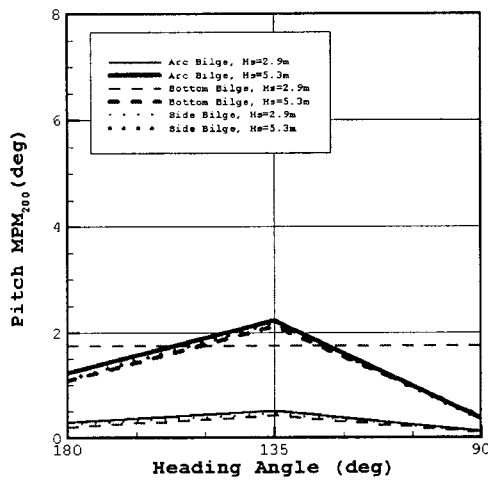


Fig. 6 Pitch response in ballast draught

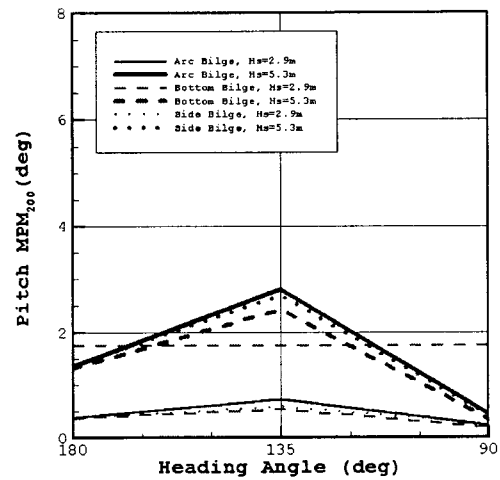


Fig. 9 Pitch response in full load draught