

# 선형이 FPSO의 운동특성에 미치는 영향

원윤상\* · 심달진\* · 김진기\* · 유우준\*\* · 장종희\*\*

\*삼성중공업 특수선기술영업팀

\*\*삼성중공업 조선플랜트연구소

## Effect of Hull Form on Motion Characteristics of FPSO

Y. S. WON\*, D. J. SIM\*, J. K. KIM\*, W. J. YOO\*\* AND J. H. JANG\*\*

\*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, Hull form 선형, Model test 모형시험

**ABSTRACT:** This paper describes the effect of hull form on motion characteristics of FPSO. The purpose of the present study is to investigate seakeeping performance of ship type FPSO in comparison with those of barge type FPSO. Model test result shows that the barge type FPSO is better in heave and pitch motion, while the ship type FPSO is superior in roll motion.

### 1. 서 론

FPSO(Floating Production, Storage, and Offloading System)의 경우와 같이 일정한 장소에서 수십 년을 작업하는 해양구조물(offshore structure) 선박의 선형(hull form)은 대양을 항해하는 유조선(tanker) 등과는 다른 관점에서 결정된다. 해양구조물의 역할을 하는 선박에서 가장 중요한 유체역학적 성능은 내항성능이며 일반 상선에서 매우 중요시하는 속도성능은 조류에 대한 위치조종 성능의 하나로서 취급된다.

FPSO의 선형은 크게 곡면으로 이루어진 선박형(ship type)과 직선과 평면으로 구성된 부선형(barge type)의 두 가지로 대표되며, 이 두 선형은 유체역학적 성능, 생산(construction) 및 운용(operation)의 관점에서 뚜렷하게 구분되는 특징이 있다. 개조(conversion)된 선박을 포함하여 선박형으로 건조되는 경우, 예인 속도를 높일 수 있고 응력(stress) 집중이 없어 선주사에서 선호되고 있다. 한편 부선형의 경우에는, 갑판 면적 확보가 용이하고 큰 복원력을 얻을 수 있으며 생산성이 높아 조선소에서 선호하나, 모서리 부분에 응력 집중 및 도장(paint) 손상이 발생하여 추가 운용 비용이 발생할 수 있다. 그렇지만, 해양구조물은 해당 유전이나 가스전에 적합하도록 설계되어야 하므로 해역에 따른 내항성능이 가장 중요한 척도라 하겠다.

본 연구에서는 상대적으로 거칠지 않은 해역에 투입될

FPSO를 대상으로 선박형과 부선형의 파 중 운동성능에 대하여 논한다.

### 2. 모형시험 방법

본 연구의 대상인 저장량 1,000,000 barrel 급 FPSO의 기본 제원은 Table 1과 같다. 갑판면적 확보를 위하여 길이와 폭을 고정하고 깊이와 흘수를 달리 하여 동일한 저장 용량과 배수량을 지니도록 하였다.

Table 1 Principal particulars of FPSOs

Condition	Ship type		Barge type	
	Ballast	Full load	Ballast	Full load
LBP (m)	288.0			
B (m)	50.0			
D (m)	25.5		25.0	
T (m)	6.8	16.9	6.4	15.8
GM <sub>r</sub> (m)	12.3	3.6	13.7	4.6
TROLL (sec)	16.3	22.0	14.9	19.0
K <sub>xx</sub> / B	0.49	0.38	0.48	0.38
K <sub>yy</sub> / LBP K <sub>zz</sub> / LBP	0.27	0.25	0.26	0.25

모형시험은 삼성중공업 SSMB가 보유한 예인수조에서 수행하였다. Photo 1과 Photo 2에 목재로 제작된 4.5m 모형선(축척 1/64)들의 사진을 실었다.

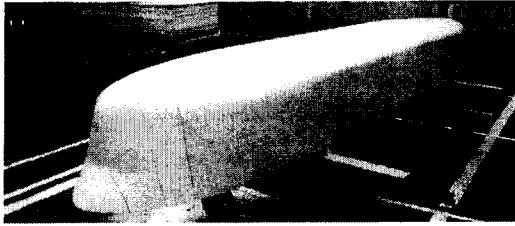


Photo 1 Model of the ship type FPSO

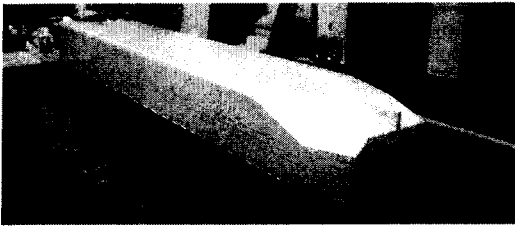


Photo 2 Model of the barge type FPSO

두 선형의 운동성능 비교를 위하여 밸러스트(ballast) 홀수와 만재(full load) 홀수에 대하여 파랑 중 운동시험을 실시하였다. 잘 알려진 방법대로 모형선이 초기 위치와 초기 파입사각(wave incident angle)을 유지하도록 선수미와 예인전차를 약한 계류로 연결하였고, 선체 중량중심에 설치된 접촉식 6-자유도 운동계측기를 이용하여 운동을 측정하였다.

파입사각은 정면파(180도, head sea), 선수사파(135도, bow quartering sea), 횡파(90도, beam sea)에 대하여 실시하였으며, 해상 상태는 투입 예정 해역의 연간 최대파(유의파고 2.9 m, 최대파 주기 9.1초)와 100년 최대파(유의파고 5.3 m, 최대파 주기 11.1초)를 실시하였다.

### 3. 모형시험 결과

Fig.1과 Fig.2에 파 스펙트럼(wave spectrum)과 규칙파(regular wave) 중 운동시험을 통하여 얻어낸 횡파 중 횡동요(roll) 운동응답함수(RAO, response amplitude operator)의 분포를 나타내었다. 선박형에 비하여 부선형의 응답함수가 최대값은 작지만 공진주기의 위치가 스펙트럼 쪽에 가까우므로 운동응답의 크기는 더 클 것으로 예측할 수 있다. 만일 본 FPSO들이 최대파주기(modal period)가 더 큰 해역에서 작업한다면 다른 경향을 보일 것이며, 최대파 주기가 짧은 해역으로 가져간다면 두 선형의 차이는 급격하게 줄어들 것이다.

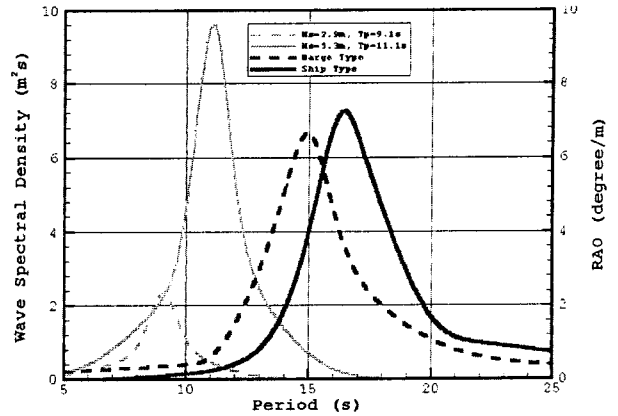


Fig. 1 Wave spectra and roll RAOs in ballast draught

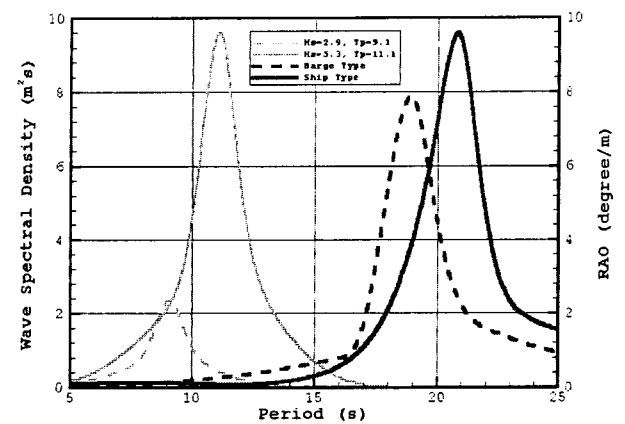


Fig. 2 Wave spectra and roll RAOs in full load draught

장파정불규칙파(long crested irregular wave) 중의 운동응답을 Fig.3부터 Fig.8에 나타내었다. 가로축은 파입사각이며 세로축은 다음 식과 같이 표현되는 200개 진폭 중 최대기대값(MPM<sub>200</sub>, most probable maximum in 200 amplitudes)으로 표기하였다.

$$MPM_N = \sqrt{2 \ln N} \sqrt{E}$$

밸러스트 홀수에서는 연간 최대파의 경우 모든 운동 모드에 대하여 두 선형이 유사한 운동응답을 보여주고 있다. 100년 최대파에 대해서는 상하동요(heave)와 종동요(pitch)에 있어서는 부선형이 더 나은 운동응답을 보여주고 있으나 횡동요에서는 횡파의 경우 선박형의 결과가 더 좋다.

만재 홀수에서도 대체적인 경향은 밸러스트 홀수 때와 유사하나, 그 차이가 더 크게 나타났으며, 종동요에 있어서는 부선형이 월등히 우수한 성능을 보여주고 있는데, 부선형의 운동응답 차이보다는 선박형의 응답 차이가 매우 크다.

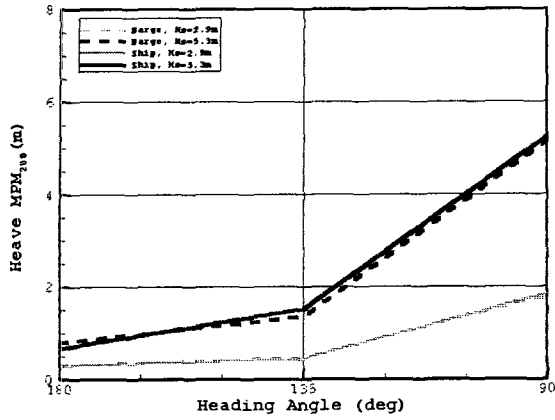


Fig. 3 Heave response in ballast draught

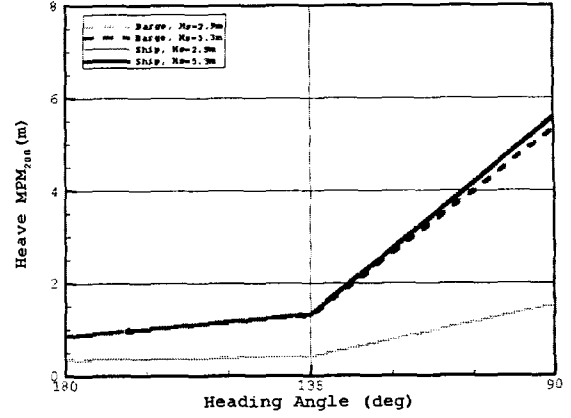


Fig. 5 Heave response in full load draught

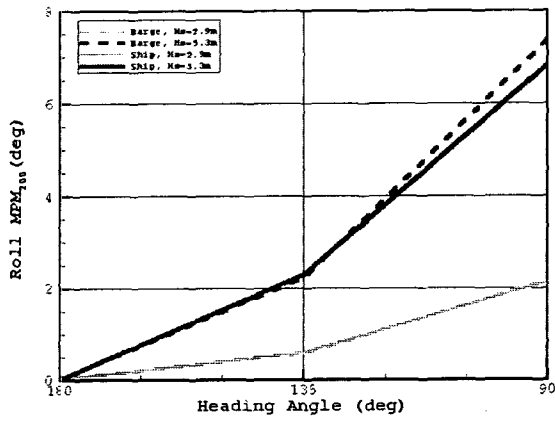


Fig. 4 Roll response in ballast draught

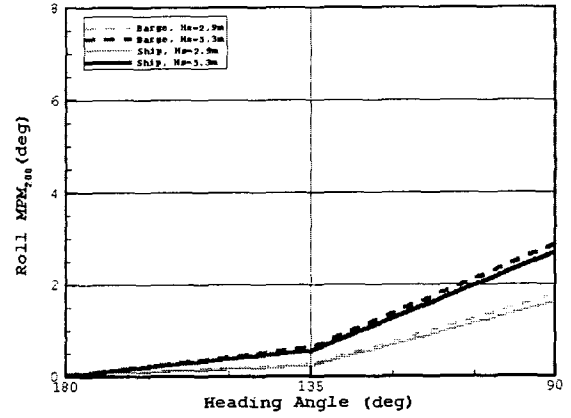


Fig. 7 Roll response in full load draught

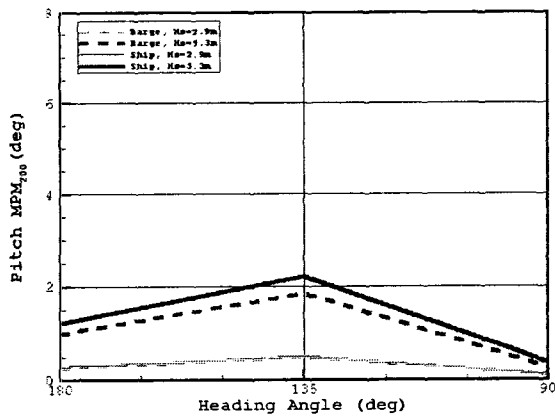


Fig. 5 Pitch response in ballast draught

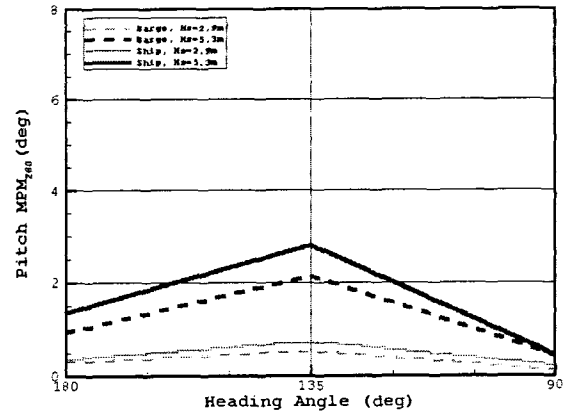


Fig. 8 Pitch response in full load draught

Table 1에서 보인 바와 같이, 부선형 FPSO는 메타센터 높이(metacentric height)가 커서 횡동요 고유 주기가 짧다. 이 영향은 Fig.1과 Fig.2에서 이미 논한 바와 같이 불규칙과 중 부선형의 횡동요 운동응답이 선박형에 비하여 큰 것에서 볼 수 있다.

같은 저장 용량을 가지기 위하여 부선형의 깊이는 선박형에 비하여 작는데, 배수량을 맞추기 위해서는 부선형의 선수미에 상대적으로 많은 배수량이 존재할 수밖에 없다. 따라서 동유체력이 커지고, 이 영향으로 종방향 질량관성 모멘트가 작음에도 불구하고, 부선형의 종동요 운동응답이 더 작게 나타난 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

FPSO의 생산 설비(topside production system)는 직선 운동인 상하동요보다는 각운동인 횡동요 및 종동요의 영향을 많이 받는다. 또한, FPSO의 선체 자체는 유정 또는 가스전의 위치를 크게 벗어나지 않도록 계류의 도움을 받게 되는데, 비교적 평온한 해역에서는 가장 안전한 방향으로 전개 계류(spread mooring)를 이용하여 고정하고, 일반적으로는 터릿 계류(external/internal turret mooring)를 통하여 기상에 따라 선수각(또는 방위)를 바꾸도록(weather vaning) 설치된다. 그러므로 FPSO의 운동에서 가장 중용한 항목은 종동요가 된다.

본 연구에서, 같은 저장 용량과 배수량을 가지는 두 가지 선형에 대하여 파랑 중 모형시험을 실시한 결과, 상하동요에는 큰 차이가 없었으며, 횡동요는 선박형이, 종동요는 부선형이 우수하였다. 따라서 운동에 민감한 생산설비를 갖추게 되는 FPSO에서는, 거친 해상에 투입되지 않는 이상 선박형보다는 부선형이 적당하다고 할 수 있다.

#### 참고문헌

- Hooft, J. P.(1982). Advanced dynamics of marine structures, John Wiley & Sons.
- Lewis, E. V. Ed.(1989). Principles of Naval Architecture Second Revision Volume III. Motions in waves and Controllability, SNAME.
- Lloyd, A. R. J. M.(1989). Seakeeping: Ship behaviour in rough weather, John Wiley & Sons.