

Helical fin을 가진 Spar Platform의 상하동요에 관한 연구

박노식* · 정창민*

*울산대학교 대학원 조선해양공학부

A study on heave motion of Spar Platform with the Helical fin

RO-SIK PARK*, CHANG-MIN JUNG*

*University of Ulsan, school of naval architecture and ocean engineering

KEY WORDS: Spar buoy, Spar, Helical, Spar platform, 스파 플랫폼, 헬리컬, 나선형판, 상하동요,

ABSTRACT: The development of offshore structures have been increased spectacularly, especially in oil rig structures. This study concerns with the effects of heave motion of spar platform that attached the helical fin. There are three models, namely, cylinder, cylinder-truss and cylinder-cell with different geometrical dimensions are examined. Finally, the interaction between structure and fluid is closely considered. As the results, it can be seen that the existence of helical fin does not influence on surging but it affects a little on heaving of spar platform.

1. 서 론

산업화가 급속하게 진전되면서 육상의 부존자원이 점점 고갈됨에 따라 해양자원의 중요성이 부각되고 있다. 특히 석유의 경우에는 이미 전체 생산량의 1/4이상을 해저에서 생산되어지고 있다. 과거에는 작업성과 신뢰성이 우수한 고정식 구조물이 선호 되었지만 최근에는 해상 유전의 개발이 점점 1000M 이상으로 깊어지면서 새로운 개념의 부유식 해양 구조물 시스템이 필요하다. 초기에는 비교적 운동성능이 우수한 반 잠수식 플랫폼이 선호 되었으나 계류시스템의 발달로 이제는 선박 형태의 FPSO가 대표적이며 또 다른 대안으로 Spar 플랫폼이 대두되었다. 이런 면에서 Spar 플랫폼은 운동성능이 상당히 우수한 것으로 알려져 있다. Spar 플랫폼은 6자유도의 모든 운동에 매우 긴 고유주기를 가진다. 특히 작업 능률에 많은 영향을 주는 상하동요 현상에도 비교적 큰 흡수를 가지면서 혹한 해상상태에서도 뛰어난 운동특성을 가지므로 심해생산, drilling, 저장에 매우 효율적인 플랫폼이다. [4]

또한 부유식 해양구조물은 해상에서 끊임없이 파랑, 바람, 조석, 조류 등과 같은 해양환경하중을 받고 있으며, 환경하중은 해상작업과 구조물의 가동일 수에 직접적인 영향을 미친다. 또한 표류력의 경우에 자유 부유 상태에서는 별 문제가 되지 않지만, 계류 시 상당한 전도 모멘트를 발생시켜 계류상태에서의 복원성에 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 환경하중 하에서 정위치를 확보하면서 구조물의 안정성을 유지하는 일은 대단히 중요하다고 생각한다.[3][6]

본 연구에서는 SPAR platform의 Cylinder형, Cylinder + Truss형, Cylinder + cell형의 3가지 구조물 모델을 채택

했으며 helical fin의 유무에 따른 동요성능을 비교 검토하였다.

2. 이론의 정식화

좌표계는 $x-y$ 평면을 정지수면으로 하고 연직상방을 양의 z 축으로 하는 직교좌표계를 사용한다. 유체는 비압축성, 비점성이고 유동은 비회전성인 이상유체이고, 자유표면의 파고 및 부체에 의한 유체교란은 미소하며 유체영역은 무한하다고 가정한다.

수치계산은 Hess & Smith 이론과 Green function을 이용해서 부유체의 표면에 분포시킨 특이점의 세기를 미지수로 하는 적분방정식을 푸는 3차원 특이점 분포법 (Three-Dimensional Source Distribution Method)을 이용하여 수행하였다. 3차원 특이점 분포법을 이용하였다. [5][7][8]

3. 수치계산

3.1 공시 모델

공시 모델은 1000m 이상의 수심에서 가동 중인 SPAR 플랫폼의 3가지 타입인 cylinder형, cylinder + truss형, cylinder + cell형을 채택 하였고 Helical fin은 각각 z 축 방향으로 45°의 각도로 모델에 따라 한번과 두 번 감았으며 Helical fin의 넓이는 각각 지름의 5%, 10%를 적용하여 모델링 하였다. 그리고 모델링을 하면서 truss 와 cell 타입은 비교적 수치 계산에 큰 영향을 주지 않는 부분들은 무시하였고 정확한 실제 데이터가

없는 경우에는 임의로 비율을 계산하여 모델링 하였다. 각 type에 따라 Cylinder type은 CSM, truss type은 TSM, cell type은 CESM으로 모델명을 붙였으며 Helical fin이 감기지 않았으면 H0, 한번 감겨진 모델은 H1, 두 번 감긴 모델은 H2로 했으며 helical fin 넓이에 따라서는 모델명 바로 뒤에 숫자 5, 10으로 구분하였다. 무게 중심은 홀수의 1/4로 하여 각 모델에 대해 수치계산 후 비교 분석 하였다.

Table 1 Model scale

	cylinder 형	cylinder + truss 형	cylinder + cell 형
실 모델명	HOOVER -DIANA	HORN MOUNTAIN	RED HAWK
축척비율	93 : 1	80.75 : 1	48.75 : 1

Table 2 Principal dimensions

Type		길이 (m)	폭 (m)	홀수 (m)	수선면적 (m ²)	배수량 (m ³)	
cylinder	CSM-H0	0.4	0.4	2.13	0.1256	0.2677	
	CSM5-H1					0.2682	
	CSM5-H2					0.2686	
	CSM10-H1					0.2686	
	CSM10-H2					0.2696	
cylinder + truss	TSM-H0			0.3511			
	TSM5-H1			0.3512			
	TSM5-H2			0.3514			
	TSM10-H1			0.3514			
	TSM10-H2			0.3517			
cylinder + cell	CESM-H0			3.25		0.2056	
	CESM5-H1						0.2059
	CESM5-H2						0.2063
	CESM10-H1						0.2063
	CESM10-H2						0.2070

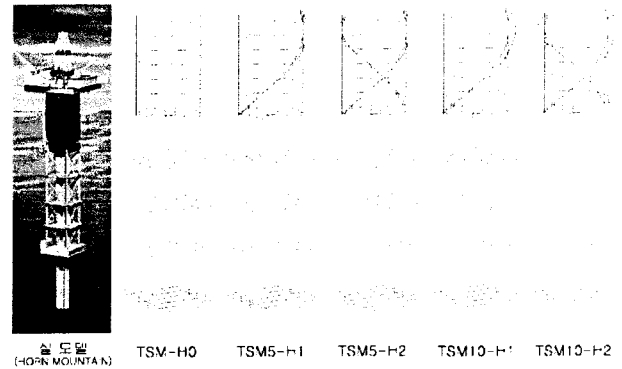


Fig 2 Mesh of the Cylinder + Truss Types

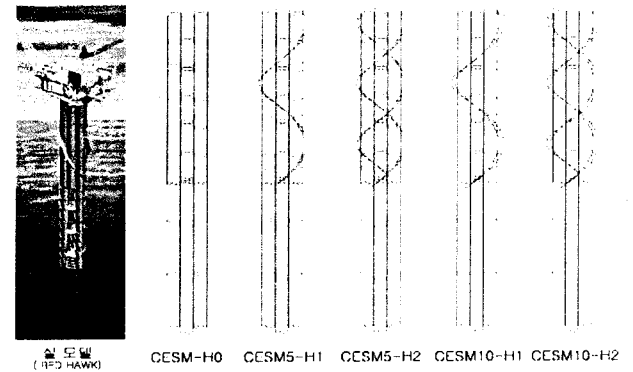


Fig 3 Mesh of the Cylinder + Cell Types

3.2 수치계산

수치계산은 3차원 특이점 분포법(Three-Dimensional Source Distribution Method)을 이용하여 수행하였으며 모델 표면의 요소는 300, 400, 600, 800개 사이의 여러 요소로 분할하여 계산 하였으나 400 ~ 600 개 사이의 요소가 결과가 많은 요소를 분할한 것에 비해 크게 차이가 없어서 선택 하여 계산 했으며, 정면과 상태에서 $\lambda/L = 1.0 \sim 16.0$ (주기 0.5~ 2.5s) 사이의 16개의 주기상태에서 부가질량, 조파감쇠 계수, 파 강제력 및 이에 대한 운동 응답과 표류력을 계산하였다.

3.3 고찰

위와 같은 모델을 계산한 후 Surge, Heave의 방향의 유체력과 동요응답 그리고 표류력의 계산결과를 각각 Fig 4 ~ 12에 표시하였다.

Fig 4 ~ 9에 유체력 계산 결과이다. Fig 4 ~ 9에서 보듯이 3가지 type은 모든 파장에서 서로 값의 차이를 보이고 있었으며 긴 파장으로 나아갈수록 일정한 값으로 수렴하는 현상을 확인할 수 있으며 helical fin의 유무에 따른 결과는 각각 형상과 helical fin의 넓이와 개수에 따른 값의 차이가 근소하게 보이는 것을 확인 하였다. 그리고 전후동요에서는 helical fin의 유무에 따른 값들의 차이가 파장에 관계없이 일정하게 나타났으며 상하동요서는 부가질량과 파강제력이 단파장에서 helical fin에 의하여 그 값들이 다소 차이가 보이는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 특히 부가질량은 전후동요에서는

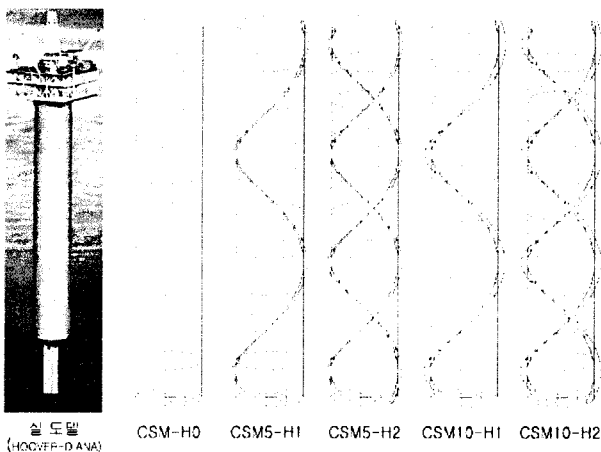


Fig 1 Mesh of the Cylinder Types

cylinder + cell 타입이 가장 컸으며 cylinder + truss 타입이 가장 낮게 나타났다.

Fig 10, 11은 동요 응답의 결과이다. 그래프에서 보듯이 전후 동요에서는 cylinder 형이 가장 큰 값을 보이고 있으며 값의 차이는 있지만 cylinder형과 cylinder + cell형은 파장에 관계없이 비슷한 현상을 보였고 cylinder + truss 형은 장파장에서는 그 값이 2개의 형상에 비해 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 그리고 helical fin의 유무에 따른 차이는 모든 타입에서 변화가 적은 것을 확인 할 수 있었다. 상하동요의 결과는 모든 타입이 장파장에 갈수록 비슷한 모양으로 그 값들이 커지는 것을 볼 수 있었으며 각 타입별 helical fin에 의한 영향이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그리고 단파장에서는 모든 타입들에서 helical fin의 영향에 따른 값들이 불규칙적인 것을 볼 수 있었으며 장파장에 이르면 helical fin이 부착되지 않은 cylinder + cell 타입이 가장 큰 값을 나타 내었다. 또한 3가지 타입 모두 긴 고유주기를 가지는데 cylinder + cell 타입이 동조가 먼저 나타났으며 cylinder + truss 타입이 가장 늦게 나타나는 것을 확인 하였다.

표류력의 결과는 Fig 12에 표시 하였고 helical 핀의 의한 값의 차이는 3가지 type 모두 작았으며 $\lambda/L = 2.0 \sim 3.0$ 사이에 크게 증가 하였다가 장파장으로 갈수록 줄어들어 일정한 값에 수렴하는 모습을 확인 할 수 있었다.

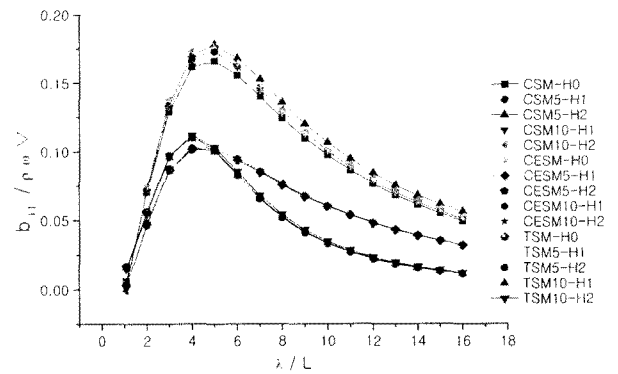


Fig 6 Comparison of Surge Damping coefficient

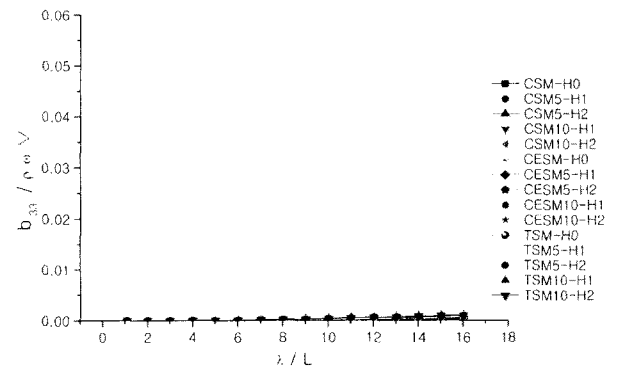


Fig 7 Comparison of Heave Damping coefficient

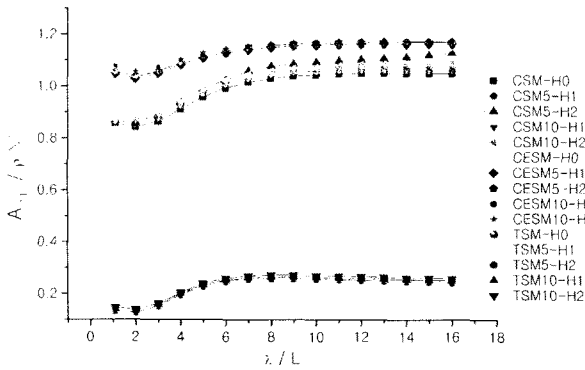


Fig 4 Comparison of Surge added mass

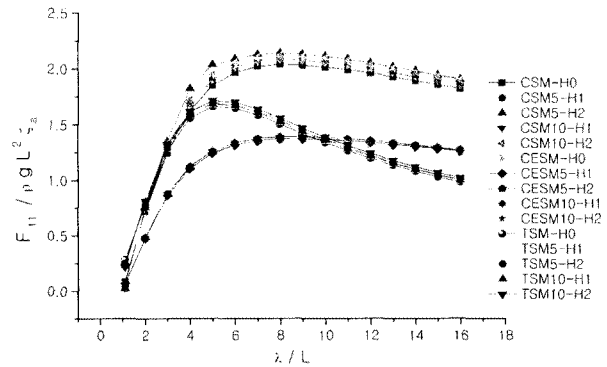


Fig 8 Comparison of Surge Exciting Force

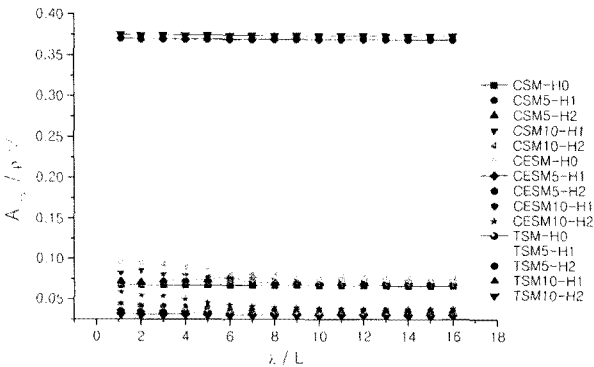


Fig 5 Comparison of Heave added mass

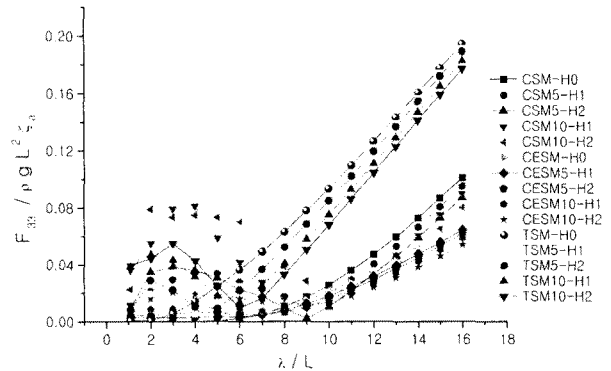


Fig 9 Comparison of Heave Exciting Force

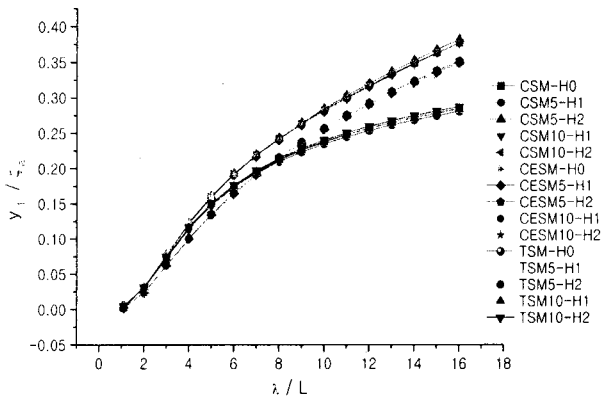


Fig 10 Comparison of Surge Motion amplitude

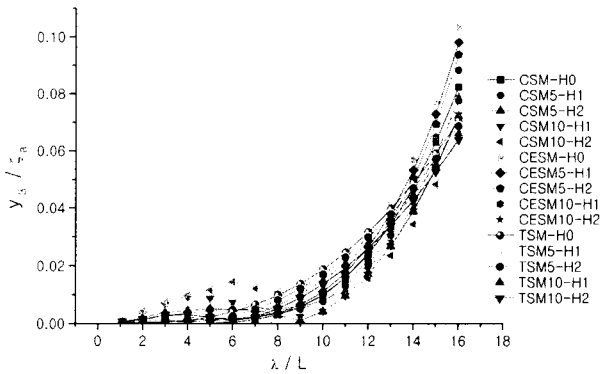


Fig 11 Comparison of Heave Motion Amplitude

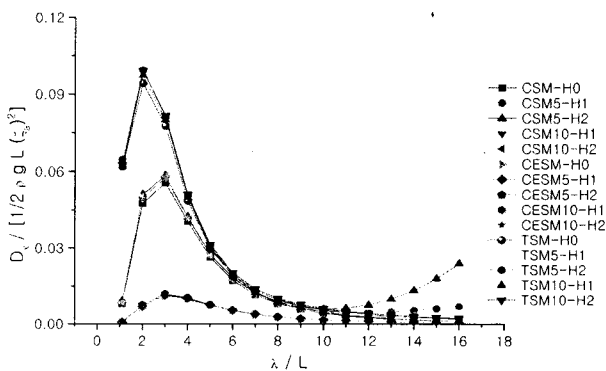


Fig 12 Comparison of X-direction Drift Force

4. 결 론

이상과 같은 3가지 type의 spar platform에 있어서 helical fin의 유무에 대한 상하동요 현상을 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전후 동요에서는 3가지 타입이 형상에 따른 영향은 있었으나 helical fin의 영향은 거의 없음을 확인 하였다.

2. 상하 동요에서는 3가지 타입의 형상이나 helical fin의 영향이 확인한 차이는 없지만 조금씩 그 차이가 나타나는 것을 보아 helical fin의 유무는 상하동요에 있어서 작지만 영향을 보이는 것을 확인 하였다.

3. helical fin의 넓이와 두께 감는 개수 및 각도에 대한 연구를 수행하여 상하동요를 줄일 수 있는 최적의 안정성을 가진 helical fin 모델을 개발하고 또한 helical fin은 구조학적으로 긴 홀수를 가진 spar 플랫폼의 강도를 강하게 하면서 변형을 막기 위해 필요 하므로 구조적으로 안정적인 helical fin 형상에 관련된 연구도 병행하면 보다 heave 동요가 적은 구조물의 설계 가능성이 기대 된다.

참 고 문 헌

- [1] 박노식, 엄병섭(1988). "쌍동형 부유식 소파제의 소파성능에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제12권 제1호, pp128~134
- [2] 최항순, 박노식, 조철희(2001). 초대형부유구조물, 대선
- [3] 김상동(2001). "실린더형 스파부의 운동학적 안정성에 관한 연구" 울산대학교 공학석사논문
- [4] 노준범(2002). "Spar 플랫폼의 비선형 동적 거동에 대한 연구" 서울대학교 공학석사논문
- [5] Gunter Clauss(1977). 해양구조물공학, 韓國學術振興財團翻譯叢書 153, 미리내, 小林浩 著
- [6] O. M. Faltinsen(1990). Sea loads on ships and offshore structures, Cambridge University
- [7] 朴魯植(1984). 半潛水式 海洋構造物に働く 流體力に關する 研究, 日本廣島大學, 學位論文
- [8] Hess, J. L & Smith, A. M. O(1964). Calculation of nonlifting potential flow about arbitrary three-dimensional bodies, J. Ship Research, Vol.8 No.3 Sept
- [9] Morison, J. R. , O'Brien, M.P., Johnson, J. W. & Schaaf, S.A.(1950). The force exerted by surface waves on piles, Pet. Trans.
- [10] 山下誠也(1992). 浮體の能動形 動搖制御の一實驗 11th Ocean Engineering Symposium, 日本造船學會
- [11] 田才福造(1970). Semi-Submersible Catamaran Hullの規則波中の運動について, 西部造船會. 第40號