

있었다. V와 W성분의 경우 특히 W성분의 진폭을 살펴보면 다른 두 성분(U, V)에 비해 그 영향력이 상당히 적음을 알 수 있었으며 U, V, W 복합속도의 진폭과 U성분의 진폭이 거의 유사함은 U성분이 Main Stream임을 재차 확인할 수 있었다. 이 때의 Re는 약 1136으로 구해진 St는 약 0.19로 선행 연구자들의 결과와 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

또한 구의 후류에 대한 무차원 속도분포의 분석을 통하여 구의 후류 구조가 이중셀 형태를 이룸을 확인하였다. 이는 수행된 연구결과 획득되어진 3차원 와도(Vorticity)를 보면 알 수 있으며, 선행 연구자들의 수치해석에 의한 결과와도 일치하였다. 구의 후류 유동의 경우 구에서 발생하는 박리에 의해서 구의 후면에 음압이 걸림과 동시에 역류로 인한 유속의 감소와 구 외부의 경우는 유속의 증가가 이루어졌다. 이 속도 차에 의해서 구 후면에서는 내부셀의 형태를 구 외부에서는 외부셀의 형태를 지니는 것으로 사료되며, 실제 이러한 형태를 보이며 순환을 하면서 Stream(x)방향으로 흘러감을 확인할 수 있었다.

유동장의 속도벡터를 이용한 고유치해석법을 적용함으로써 유동장의 순간구조에 대한 정량적 구분을 실시하였으며, 구의 후류의 와중심(Vortex Center)을 구하기 위하여 3차원 공간에서의 순환을 정의하여 구하였으며, 이를 시간변화에 와중심의 이동에 대한 3차원 궤적을 추종하였다. 와 중심의 경우 3차원 와도(Vorticity)를 yz단면으로 Slice하여 그 구조를 보면 와환(Vortex loop)의 중심이 y와 z축상에 존재한다는 것을 예측할 수 있었는데, 실제 와중심을 구한 결과도 예측과 일치함을 확인할 수 있었다.

본 연구는 3차원 PTV기법에 의한 구의 유동장에 대한 실험데이터 베이스를 구축함과 동시에 이를 이용한 구의 유동구조에 관한 정량적 해석을 시도하는 것을 연구의 목적으로 하여 수행되었으며, 구의 후류 유동장의 정량적, 정성적인 난류통계치를 데이터베이스화하기 위해서는 단일 case 보다는 앙상블 평균에 의한 통계처리를 하기 위해서 좀 더 많은 실험데이터가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 즉 단일 case의 경우 순시변동치의 영향이 유동장에 크게 작용하게 되나 이들 값의 평균치를 사용함으로써 순시변동치에 의한 영향을 완화할 수 있었다. 이를 위해서는 실험시 획득할 수 있는 이미지의 량을 늘림과 동시에 계속되는 반복 실험을 수행하여 다량의 실험데이터를 획득하여야 할 것이다.

18. Spar의 동적 거동에 대한 실험적 연구

해양시스템공학과 오 태 원
지도교수 조 효 제

해양개발을 위한 기술은 해양유전 개발과 더불어 급속히 발전하였다. 가까운 미래에는 해

양공간 및 자원의 개발은 대수심역으로 확대될 것이며 그에 맞는 다양한 개념의 구조물들이 건조될 것이다. 현재 해양자원 개발을 위한 대표적 구조물로서 FPSO(Floating, Production, Storage & Offloading), TLP(Tension Leg Platform), Spar등이 있으며, 특히 Spar는 운동 성능의 우수성과 제작의 간편함 등의 장점이 있어 심해석유자원 개발용 구조물로 각광을 받을 것으로 전망된다.

Spar는 시추 또는 생산을 위한 시설물을 지지하기 위한 깊은 흘수를 가진 실린더형 부유체로 되어 있으며, 동적 안정성의 확보를 위해 실린더 하부에 적절한 밸러스트를 통하여 부심위치 보다는 무게중심을 아래에 두고 있다. 위치유지를 위한 계류계는 초기 인장을 가한 방사형 카테나리 계류를 하고 있으며 Mooring line의 부착을 위한 페어리더(Fairlead)는 Mooring line에 미치는 동적 효과를 최소화하기 위하여 무게중심의 근방에 두는 것이 일반적이다. 전형적인 Spar는 surge 300~350sec, pitch 50~100sec, heave 30sec 정도의 고유주기를 가지고 있어 일반적인 해양파와의 공진을 피하도록 하여 우수한 운동성능을 확보하도록 하고 있다. 따라서 TLP에서 나타나는 springing이나 ringing 현상은 피할 수 있는 반면, 장주기 표류운동이 수반될 수 있다.

향후 건조예정인 Spar는 Marginal Field나 소형유전에 적합한 실린더형에 Truss몸체를 덧붙인 Truss형이 다수 계획 중에 있어 이와 같은 형상을 가진 구조물에 대한 기초적인 연구는 일부 연구자들에 의해 다수 수행되어 왔다. 그러나 형상 변화에 대한 체계적인 연구는 아직 미비한 실정이며 특히 우리나라 해양산업계에서는 많은 해양구조물을 건조해 왔고 또 건조 중에 있지만 엔지니어링 기술은 대부분 외국에 의존하고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서 수행하고자 하는 파랑중의 Spar의 동적거동을 체계적으로 파악하고자 하는 것은 기초적이지만 개념설계 측면에서는 필수적인 연구과제로 사료된다.

심해석유개발을 위한 Spar의 동적 거동을 체계적으로 조사하는 것을 연구 목표로 하였다. 따라서 먼저 기존에 설치되어 운용중인 전형적인 Spar, 즉 긴 흘수를 가진 실린더형으로 부체를 형성하고 있는 Spar와 본 연구에서 중점적으로 조사하고자 하는 트러스형 Spar, 즉 부력은 상대적으로 흘수가 낮은 실린더형을 가지고 그 하부에 트러스형의 몸체를 덧붙인 Spar의 응답 특성을 비교 검토하였다. 그리고 Vortex의 발생으로 인한 불균형 수평력을 감소시키기 위하여 부착한 나선형 Strake가 운동 응답에 미치는 영향과 부유체의 위치유지를 위해 계류하게 되는데 계류지점이 운동응답에 미치는 영향을 조사하였다. 이와 같은 동적 거동을 파악하기 위하여 각 형상에 대한 축척 모델을 제작하여 파 생성장치를 겸비한 시험수조에서 실험을 수행하였다. 실험은 규칙파, 불규칙파, 과도수파를 대상으로 하였고 계류는 선형 스프링계수를 가지는 재료를 사용하였다. 그리고 6분력계를 이용하여 각 모델에 작용하는 파강제력을 측정하였고, 광점 위치 측정장치를 이용하여 2차원 운동응답, 수중장력계를 이용하여 계류계에 작용하는 변동 장력을 계측하였다. 이론해석에서는 파강제력 및 주파수 영역 운동응답 계산을 위하여 3차원 특이점 분포법을 적용하였고, 운동응답 및 파강제력의 시간이력을 시뮬레이션하기 위하여 시간 영역 해석법을 적용하였다.

본 연구에서는 Classic Spar와 Truss Spar에 대한 파강제력과 운동응답 특성을 이론과 실험적 방법을 통하여 서로 비교 검토하였다. 일련의 연구수행 결과는 다음과 같다.

- (1) 파강제력은 Diffraction 이론에 의한 이론계산에 의해서 양호하게 추정할 수 있지만, Truss Spar와 같이 박판의 Heave Plate를 가지는 경우에는 이론계산에 의한 추정은 오차를 내포하고 있다.
- (2) Truss Spar의 경우 Heave Plate를 설치함에 따라 Heave 운동 감쇠력의 증대 뿐만 아니라 파랑강제력도 상당량 감쇠시키며 Plate의 간격은 파강제력에 크게 영향을 미치지 않는다.
- (3) Classic Spar와 Truss Spar의 파강제력을 비교하면 Surge는 Truss가 현격하게 줄어드는 반면, Heave 강제력은 Truss의 경우 흡수가 않은 실린더가 있음에도 불구하고 Classic과 비슷한 크기를 준다.
- (4) 쇄파중의 수평방향 파강제력은 수직방향과 비교하여 상대적으로 짧은 순간의 임펄스형을 가진다.
- (5) Classic Spar와 Truss Spar의 고유주기는 전반적으로 전 모드의 운동에서 Truss Spar가 조금 짧게 나타나며, Strake는 전 모드의 운동 고유주기를 약간 길게 가져가는 것으로 나타난다.
- (6) 규칙파 중에서의 운동응답에서 Classic Spar의 Heave는 이론과 비교적 잘 일치하지만 공진에 있어서는 점성에 의한 감쇠력이 많이 작용하고 있는 것을 보여준다. Truss Spar의 경우에는 Heave Plate의 영향으로 감쇠력과 공진점의 변화를 가져온다.
- (7) Classic Spar와 같이 무게중심과 부심의 위치가 비슷하면서 장대한 구조물의 경우에는 Surge 및 Pitch의 연성운동을 고려한 시뮬레이션에 문제점을 내포하고 있다.
- (8) Strake의 부착여부는 각 운동 모드에 그다지 영향을 미치지 않지만 규칙파중 Heave 응답은 나선운동으로 인하여 다소 Heave 응답이 증폭되는 경향이 있다. 단 불규칙파 중에서는 Strake의 부착으로 전 운동응답의 유의치가 다소 감소하게 된다.
- (9) 계류지점의 변화에 따른 운동 응답은 규칙파중에는 거의 영향이 없는 것으로 나타나지만 Surge나 Pitch가 공진하는 저주파수 영역의 성분파를 포함하는 불규칙파중에서는 무게중심에서 약간 아래에 계류한 것이 운동응답이 다소 줄어든다.
- (10) 과도수파중의 응답은 과도응답으로 나타나지만 Truss Spar의 Heave는 Heave Plate의 영향으로 복잡한 거동을 나타내고 있다.