

## 부유식 진자형 파력발전장치의 연결부 최종강도해석

손정민 · 천호정 · 신승호<sup>†</sup> · 홍기용  
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

# Ultimate Strength Analysis of Connections of Floating Pendulum Wave Energy Converter

Jung Min Sohn, Ho Jeong Cheon, Seung Ho Shin<sup>†</sup> and Key Yong Hong

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, 32, 1312 beon-gil, Yuseong-daero,  
Yuseong-gu 305-343, Daejeon

### 요 약

부유식 해양구조물은 설계수명동안 파랑에 의한 압축력, 굽힘하중, 전단력 등의 작용으로 인해 좌굴이 발생할 가능성이 높다. 이는 부재의 면내 강성 저하를 유발하여 국부 구조물 뿐만 아니라 전체구조의 최종강도에도 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 부유식 진자형 파력발전장치의 수실부와 감쇠판을 연결하는 원통부재의 최종강도에 대해 조사하였다. 탄성좌굴해석을 통해 얻어진 1차 좌굴모드를 초기처짐으로 가정하여 탄소성대변형해석을 수행하였으며 최종강도 특성을 바탕으로 부유식 파력발전장치의 연결부인 원통부재의 최적설계인자를 도출하였다. 이를 통해, 원통부재의 직경을 크게하거나, 판의 두께를 두껍게 하는 방법과 보강재를 사용하여 단면적을 크게하는 것이 최종강도를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

**Abstract** – A floating offshore structure has high tendency to occur the buckling when compressive, bending and shear loads applied. When the buckling is occurred, in-plane stiffness of structure is remarkably decreased. And it has a harmful effect on the local structural strength as well as global structural strength. In the present study, it has been investigated the ultimate strength of tubular members which is located between a floater and a damping plate of the floating pendulum wave energy converter. Nonlinear finite element method is conducted using the initial imperfection according to 1st buckling mode which is obtained from the elastic buckling analysis. It is also noted the ultimate bending strength characteristic varying with a diameter, thickness and stiffeners of the tubular member.

**Keywords:** Floating Pendulum Wave Energy Converter(부유식 진자형 파력발전장치), Tubular Member(원통부재), Nonlinear Finite Element Method(비선형유한요소해석), Structural Analysis(구조해석), Ultimate Strength(최종강도)

### 1. 서 론

해양에너지는 최근 전 세계적으로 화석연료고갈로 인한 고유가 및 이산화탄소 배출량 증가에 따른 환경오염을 극복할 수 있는 신재생에너지 활용 기술 중 하나로 각광받으면서 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 파력발전은 반도의 지형적 특성을 지닌 우리나라의 해역에서 대규모로 활용이 가능하며, 풍부한 가용에너지원과 높은 실용성으로 활발한 기술개발이 이루어지고 있다. Kim *et al.*[2011]

는 진동수주형 파력발전장치의 수치조파수조를 사용하여, 공기실 내부의 수면변화 및 덕트 내부의 왕복유량에 대한 수치적 연구를 진행하였으며, Park *et al.*[2011]는 월류 파력발전 시스템의 1/7 축소 모형을 제작하여, 실험적으로 월류량과 발전량을 측정하였다. 현재 선박해양플랜트연구소에서는 에너지 밀도가 높은 심해에서 활용가능한 부유식 진자형 파력발전장치 적용 기술을 연구 중이다.

Fig. 1은 부유식 진자형 파력발전장치로 수면의 움직임에 따라 반응하는 물체의 움직임을 전기에너지로 변환하는 가동물체형 발전장치이다. 이는 파력에너지를 직접 이용함으로써 에너지 흡수 효율이 높지만, 파랑에 직접 노출됨으로써 구조적 취약성을 가진다. 특히, 수실과 운동감쇠판을 연결하는 원통부재는 급격한 형상변화와 함께,

<sup>†</sup>Corresponding author: shinsh@kiost.ac

본 논문은 2013년 여수에서 개최된 한국해양환경·에너지학회 추계 학술대회에서 발표된 논문을 근거로 하고 있음을 밝힙니다.

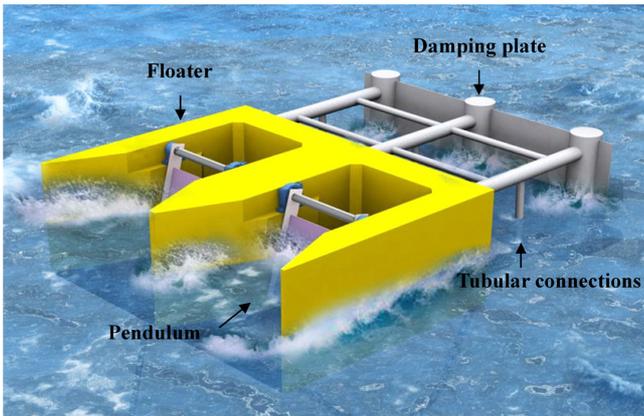


Fig. 1. Floating pendulum wave energy converter.

파랑에 의한 전체구조물의 굽힘, 비틀림 등의 하중으로 인해 응력집중이 예상된다.

부유식 해양구조물 설계 시 파랑에 의한 압축력, 굽힘하중, 전단력 작용으로 인해 좌굴이 발생할 가능성이 높다. 이는 부재의 면내강성 저하를 유발하여 국부 구조물 뿐만 아니라 전체구조의 최종강도에도 영향을 미치게 된다. 원통부재는 수실과 연결되어 있는 상태에서 수압과 파랑에 견디고 요구되는 부력을 만족시키기 위해 작용하는 외력 대비 충분한 최종강도 성능 확보가 요구된다. 상용유한요소프로그램을 활용하여 최종강도를 추정하는 연구의 신뢰성과 실용성은 실험결과와 비교 수행한 이전 연구로 검증되어왔다(Paik *et al.* [2012], Park and Lee [2002]). 본 연구에서는 상용유한요소프로그램인 ANSYS [2013] 사용하여 원통부재의 지름 및 두께를 변화하여 굽힘하중 및 비틀림하중 작용, 횡압력 작용유무에 따른 탄소성대변형해석을 수행하였으며, 최종강도 해석결과를 바탕으로 최적설계인자를 도출하였다.

## 2. 해석 대상

부유식 진자형 파력발전장치는 수실 내로 진행파를 유도하여 수실 내 벽면에서 반사된 파에 의해 정상파를 형성하며, 이 정상파의 마디 부위에 진자판을 설치하여 파랑에너지를 진자의 왕복운동으로 변환하여 발전하는 장치로 수실, 진자판, 운동감쇠판으로 구성된다 (Park *et al.*[2012]).

### 2.1 연결부 민감도해석

원통부재의 초기 지름, 두께 및 개략적인 배치를 선정하기 위해 실험계획법(Design of Experiments)을 바탕으로 수실과 감쇠판을 연결하는 연결부를 대상으로 민감도해석을 수행하였다.

Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 지름, 두께, 수평간격 및 수직간격 총 4개의 변수로 모델을 구성하였다. 각 변수들의 초기값과 최소-최대 경계값은 6개의 원통부재가 수실과 감쇠판을 연결한다는 가정하에 공간적 제약을 고려하여 Table 1 같이 정의하였다. 연결부의 강도 성능평가를 위해 수실과 감쇠판은 강체로 가정하였으며, 연결

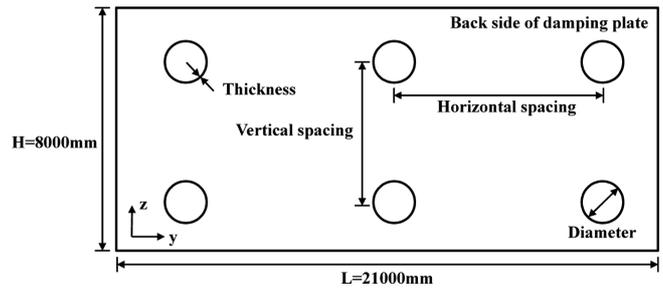


Fig. 2. Schematic figure of design parameter.

Table 1. Outline of design parameters (Unit: mm)

Variable name	Initial value	Upper bound	Lower bound
Diameter	1000	1500	500
Thickness	20	10	30
Vertical spacing	4000	7000	2000
Horizontal spacing	9500	10250	3000

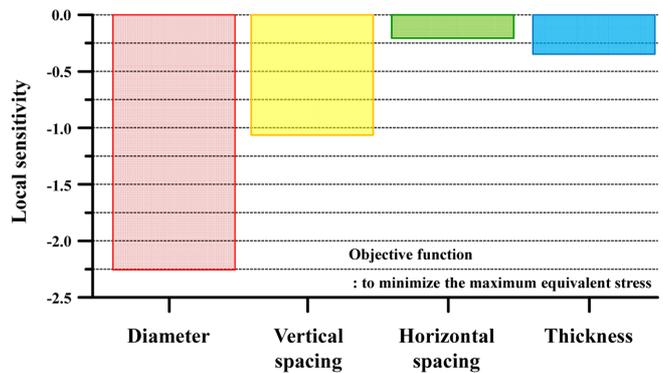


Fig. 3. Responses chart-local sensitivities.

부에 비틀림과 굽힘을 가하여 구조응답을 평가하였다.

반응표면분석법(Response Surface Method)은 가장 적절한 실험 계획법을 고찰하여 데이터분석을 통해 추정되는 적합한 반응표면의 통계적 성질을 규명하는 방법이다. ANSYS Design Exploration [2013]을 활용하여 매개변수의 특정값에서의 최적화되는 반응량을 파악하였으며, Fig. 3에서 보이는 바와 같이 지름, 수직간격, 두께, 수평간격 순으로 민감도를 조사하였다. 최대등가응력의 최소화를 목적함수로 설정하고, 제시된 4개의 변수의 민감도를 바탕으로 임의의 1000개의 모델을 구성하여 최소 응력을 가지는 모델을 탐색하였으며, 최종모델은 지름 1.5 m, 두께 28 mm, 수직간격 5.3 m, 평간격 10 m임을 확인하였다. 여기서, 1000개의 모델은 ANSYS Design Exploration에서 탐색하는 모델의 개수로서 프로그램 내에서 반응의 크기에 따라 변수의 증분값이 자동 조절되어 구성된다. 이러한 방법은 제한된 시뮬레이션을 통해 입력값의 전반적인 범주를 다룸으로써 개별 구조응답을 조사할 수 있으며, 설계에 영향을 미치는 인자를 규명할 수 있다. 이후의 해석에서는 결정된 지름 1.5 m, 두께 28 mm의 원통부재를 대상으로 최종강도를 조사하였다.

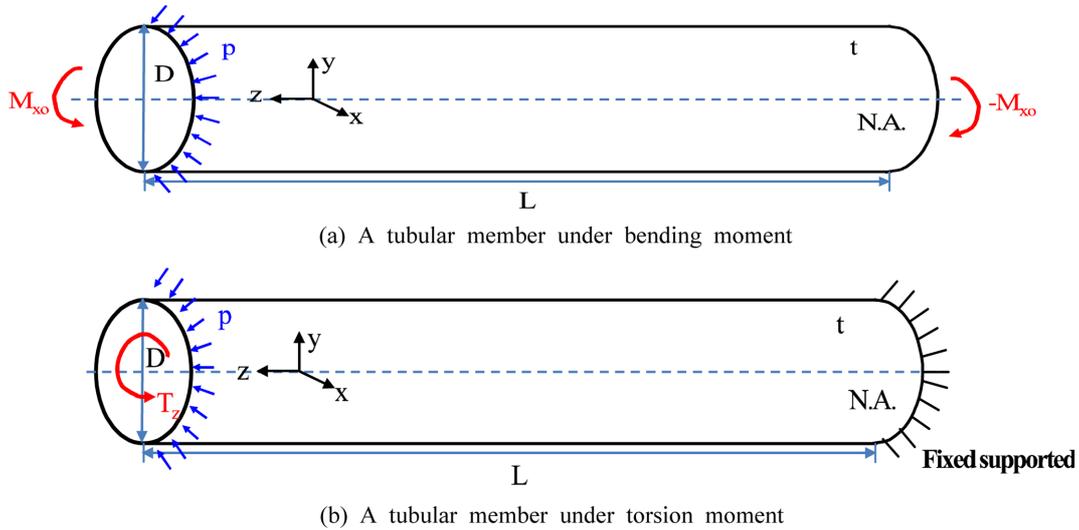


Fig. 4. Nomenclature: dimensions of the tubular member.

2.2 주요제원

부유식 진자형 파력발전장치는 해상의 각종 외력에 노출되어 있으며, 특히 파랑은 원통부재에 다양한 하중들을 야기한다. 우선적으로 전체 파력발전장치의 고유모드를 살펴본 후, 원통부재에 작용하는 주요모드를 탐색하였다. 탐색결과 원통부재의 주요모드는 저차의 굽힘모드와 비틀림모드로 판단된다. 이로부터 파랑하중에 의한 원통부재의 거동은 굽힘거동과 비틀림거동이 지배적일 것으로 예상되므로 단면부의 설계와 해석 시 이를 충분히 고려하는 것이 필요하다. Fig. 4 원통부재에 작용하는 굽힘모멘트( $M_{xo}$ ), 비틀림모멘트( $T_z$ ), 횡압력( $p$ )을 도식적으로 나타내고 있다.

원통부재의 길이( $L$ )은 파랑장 운동해석을 통해 최적의 효율을 출력하는 10.75 m로 선정하였다(Nam *et al.*[2011]). 연결부의 지름( $D$ )은 앞 절에서 정해진 1.5 m를 기반으로 0.5 m부터 2.0 m까지 0.5 m 간격으로 살펴보았으며, 또 하나의 변수인 두께( $t$ )는 결정된 28 mm를 최대값으로 두고 4 mm를 최소값으로 7개의 설계변수로 구성하였다. 또한, 원통부재는 배치에 따라 수면 아래 위치되므로 수압을 추가 고려하였다. 구조물의 운동에 의해 수면 하 최대 10m까지 잠긴다고 가정하였으며, 0.1 MPa을 최대 횡압력( $p$ )으로 두고, 0.02 MPa 간격으로 횡압력 유무가 최종강도에 미치는 영향을 조사하였다.

3. 해석 방법

상용유한요소프로그램을 이용한 최종강도해석은 1차 선형좌굴모드 형상에 따른 미소변형을 초기조건으로 부여한다. 이는 임의의 초

기변위를 작용하여 분기점 현상을 억제하고 하중과 변위가 연속성을 가지게 한다.

압축/전단력을 서서히 증가시키면 변형이 되기 쉬운 순서로 좌굴 모드형상이 나타나는데 1번째로 발생하는 좌굴모드를 1차 선형좌굴 모드라 한다. Fig. 5(a)는 압축력 작용 시 1차 선형좌굴모드이며, (b)는 전단력 작용 시 선형좌굴모드이다. 전자의 경우 정현파 곡선의 형태로 나타나며, 후자의 경우 45도 경사방향으로 압축이 이루어진다.

용접으로 제작하는 구조물의 경우는 반지름의 0.5%까지 초기변형을 허용함으로 이를 초기처짐 조건으로 부여하였으며, 용접잔류 응력은 그 영향이 미비해 고려하지 않았다. 초기변위를 가지는 유한요소모델에 재료 비선형과 기하학 비선형을 고려한 탄소성대변형 해석을 수행하였으며, 하중중분법인 Newton-Raphson을 사용하여 임계점을 탐색하였다. 임계점이후의 비선형 경로를 포함한 구조물의 거동을 조사하기 위해서는 Riks 구속조건식을 사용하여 접선강성백터가 원호를 그리며 비선형 경로에 접근해 가는 Arc-length 기법을 사용하였다(Crisfield [1983]).

4. 해석 결과

본 연구에서는 최종강도특성을 기반으로 부유식 파력발전장치의 연결부 중 원통부재의 최적설계인자를 도출하고자 한다. 해석 프로그램은 ANSYS[2013]를 사용하였으며, 4절점 shell요소를 사용하여 정적해석을 수행하였다. 원주방향으로 24개 요소를 배치하였으며, 재료는 연강( $E=205.8$  GPa,  $\sigma_y=235$  MPa,  $\nu=0.3$ )으로 탄성-완전소성

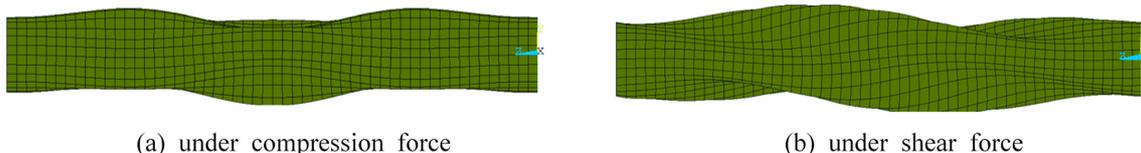


Fig. 5. Linear buckling mode - 1st order (Scale factor=5).

**Table 2.** Working moment for single tubular member

Dynamic load factor (DNV, [2012])	Bending moment	Torsion moment
1.1	11.55 MNm	1.664 MNm

모델(Elastic-perfectly plastic model)을 사용하여 재료 비선형을 고려하였다.

**4.1 극한조건에서의 작용모멘트**

최종강도와 비교대상인 작용하중은 구조물의 극한환경조건(H=8 m, T=12 sec)에서의 규칙파에서의 운동해석결과를 구조모델에 전달하여 구조해석을 통해 작용모멘트를 계산하였다. 작용하중은 Sohn *et al.*[2012], 1 m, 20 mm. 스프링요소를 사용하여 부유조건을 구현하였으며, 포텐셜 유동이론을 기반으로 계산된 파랑하중을 구조모델에 전달하였다(Nam *et al.*[2011]). 또한 계류선의 초기장력을 초기하중으로 부여하였으며, 에너지 흡수장치에 해당하는 진자판과 유압장비의 증량은 질량요소를 활용하였다(Jung *et al.*[2012]).

수치시뮬레이션에서 얻어진 원통부재에서의 최대 작용응력을 단순보 이론과 비틀림 공식을 통하여 원통부재가 가지는 굽힘모멘트와 비틀림모멘트를 계산하였다.

본 해석은 정적해석으로 계산되었으므로, DNV[2012]에서 제시한 파랑하중 작용 시의 DAF(Dynamic Amplification Factor)을 통해 보정하였다. 변환된 값은 Table 2에 나타내었다. 원통부재는 비틀림모멘트보다 굽힘모멘트가 7배정도의 높은 값을 가지며, 굽힘모멘트가 지배적으로 작용한다. 이는 부유식 진자형 파력발전장치의 연결부는 Table 2의 작용모멘트( $M_w$ ) 보다 같거나 큰 수준의 최종강도가 요구되며 특히, 작용하중에 지배적인 영향을 주는 굽힘모멘트의 수준을 고려하여 설계 변수를 결정하는 것이 필요하다. 각 변수별로 작용하중은 달라지지만, 구조보강 후에도 본 작용하중보다 큰 값이 요구되지 않을 것이라 판단되어 본 값을 사용하였다.

**4.2 굽힘모멘트/비틀림 작용 시 원통부재의 최종강도**

Fig. 6(a)는 직경 1.5 m, 두께 20 mm 모델의 곡률-굽힘모멘트 선도이며, Fig. 6(b)는 동일 모델의 비틀림각-비틀림모멘트 선도이다. 최종굽힘모멘트는 9.69 MNm이며, 최종비틀림모멘트는 9.46 MNm이다. 앞 절의 작용하중과 비교하면, 본 모델은 비틀림모멘트는 만족하지만 작용 굽힘모멘트 보다 작은 값을 가짐으로써 적용이 불가능함을 알 수 있다. 그러므로, 극한조건에서의 작용하는 굽힘모멘트를 만족하는 설계인자를 조사하기 위해 직경, 두께의 변화에 따른 최종강도 특성을 확인하였다. 비틀림모멘트의 경우 작용하중이 작고, 높은 안전율을 가지므로 충분한 구조안전성이 확보된다고 사료되어 배제하였다.

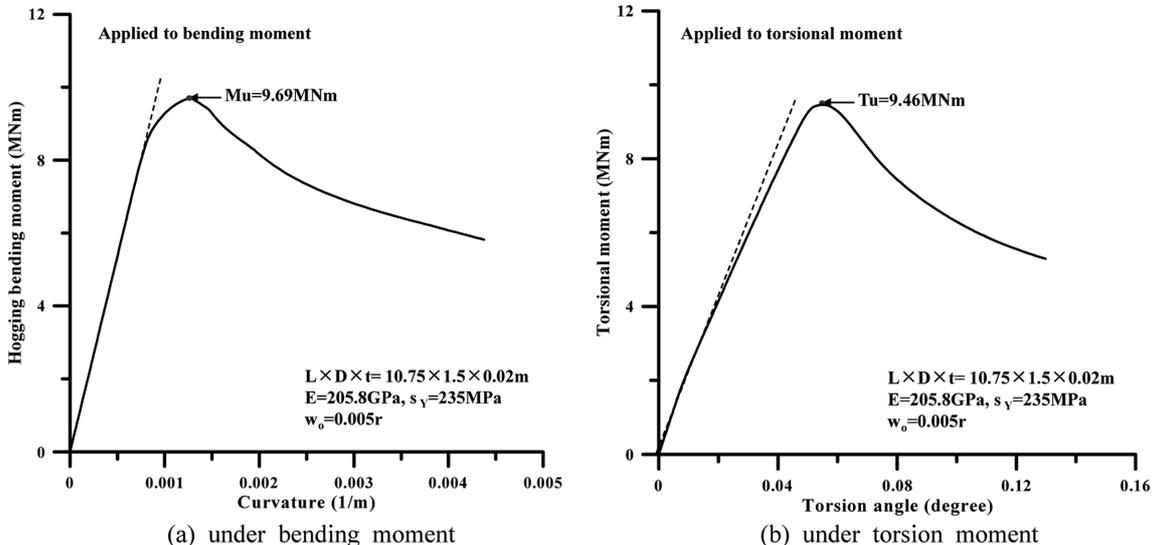
2.2절에서 언급된 4개의 직경과 7개의 두께를 조사하였으며, 이는 Fig. 7에 직경과 길이 비에 따른 최종강도 특성을 기록하였다. 직경과 두께가 증가할수록, 즉, 단면적이 커짐에 따라 최종강도가 상승하였으며, 두께의 변화 보다 직경의 변화가 최종강도 개선에 보다 큰 영향이 있음을 알 수 있다. 또한, 직경이 커질수록 두께의 변화에 따른 최종강도의 상승폭이 커졌으며, 작은 직경에서는 두께변화에 둔감하게 작용함을 확인하였다. 이는 단면적이 최종강도를 증가시키는 가장 큰 요소임을 의미한다.

작용하중을 만족하는 설계안은 직경 1.5 m, 두께 24 mm와 직경 2.0 m, 두께 16 mm 이지만, 공간적 제약, 재료절감(약 37%)과 2.1절에서의 최적해석 결과 값을 바탕으로 직경 1.5 m가 낫다고 판단하였다.

**4.3 굽힘하중 및 횡하중의 조합하중 작용 시 원통부재의 최종강도**

부유식 진자형 파력발전장치는 운영 중 파랑에 의해 동적 하중과 정적 하중이 작용한다. 동적하중은 구조물의 운동으로 인해 발생하는 하중 성분이며, 정적하중은 정지하고 있는 유체에 의한 힘을 의미한다.

규칙파에서의 부유식 진자형 파력발전장치의 구조해석을 통해 정적하중이 동적하중보다 큰 영향을 미침을 확인하였으며, 본 논문에서는 해수면으로부터 해당 수심까지의 배수량에 의한 정적 하중만을



**Fig. 6.** Ultimate strength behavior of tubular member.

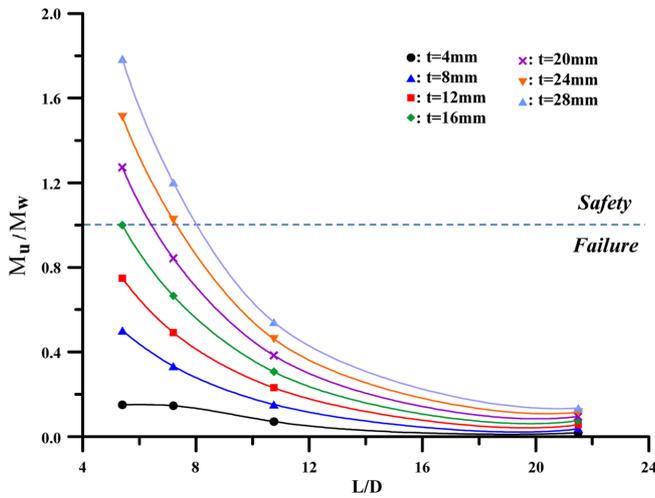


Fig. 7. Reduction of the ultimate bending strength with increase in diameter for different thicknesses.

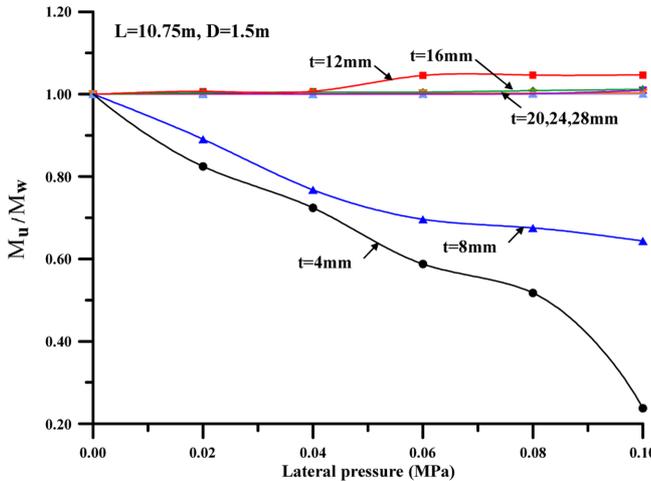
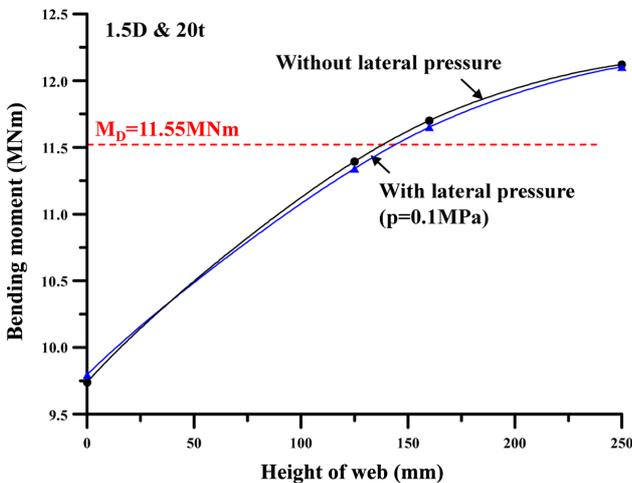


Fig. 8. Comparison of the ultimate bending strength subjected lateral pressure for different thicknesses.



(a) Ultimate bending moment varying with stiffener size

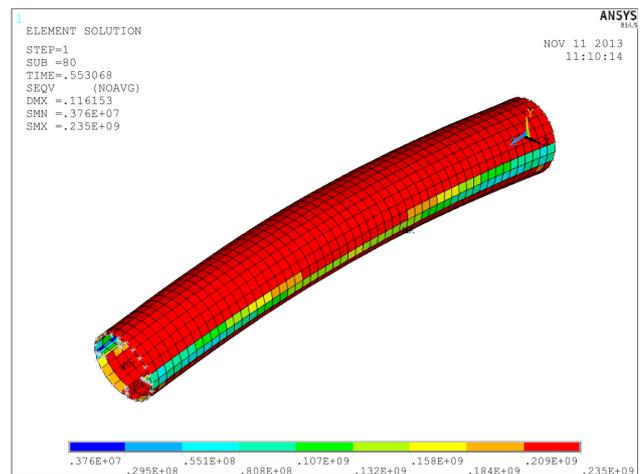
고려하였다(Sohn *et al.*[2012]). 이에 따른 횡하중 크기별 영향을 굽힘하중과 동시 작용하였을 경우를 분석하였다. Fig. 8은 직경 1.5 m의 원통부재에 대한 수압크기에 따른 최종강도의 값을 부재의 두께별로 나타낸 것이다. 종축은 굽힘모멘트를 수압이 작용하지 않을 경우의 굽힘모멘트로 무차원하였고, 횡축은 작용된 횡하중을 나타낸다. 두께별로 횡하중의 크기가 증가함에 따라 최종강도변화가 불규칙적으로 나타난다. 상대적으로 박판인 두께 4 mm, 8 mm의 경우 횡하중이 증가함에 따라 최종강도 값이 감소하는 경향을 보인다. 얇은 두께의 경우 작은 횡하중 값에도 초기항복에 도달함으로써 전단면 소성이 앞당겨졌음을 알 수 있다.

후판(두께 20 mm, 24 mm, 28 mm)의 경우 상대적으로 큰 단면적과 2차 단면 모멘트를 가짐으로써, 횡하중의 크기에 따른 영향이 없었다. 그러나, 중간경도 두께를 가지는 16 mm의 경우 0.06 MPa 횡압력부터 최종강도가 증가함을 확인할 수 있다. 이는 횡압력 작용으로 인해 초기처짐 형상이 변화됨에 따라 판의 붕괴거동에 저항요소로 작용함으로써 최종강도 성능이 높게 평가된 것으로 사료된다.

#### 4.4 길이방향 보강재에 따른 원통부재의 최종강도

4.2절에서 원통부재의 단면적을 크게 하는 방법이 최종강도를 증가시키는 방법임을 확인 하였다. 본 절에서는 보강재를 통해 취약한 좌굴강도를 보완하고자 한다.

굽힘모멘트에 대한 저항력을 키우고자 길이방향 보강재를 사용하였으며, 보강재의 개수는 4개로 하였다. 2개의 경우, 굽힘 작용방향에 따라 보강효과가 달라지며, 8개의 경우 제작상의 문제로 제외하였다. 보강재 유무에 따른 최종강도변화를 확인하고자 가장 단순한 형태인 플랫바(Flat-bar)타입의 보강재를 부착하였으며, 원통부재의 단면적과 함께 2차 단면모멘트 키우고자 보강재의 웹 높이(web height,  $h_w$ )를 조절하였다. 보강재의 설치로 인한 최종강도 증가가 예측됨에 따라, 4.2절에서 제시된 직경 1.5 m, 두께 24 mm보다 한 단계 작은 치수를 가지는 두께 20 mm(안전율 0.84)의 모델을 가지고,



(b) Deformed shape (Scale factor=10)

Fig. 9. Ultimate strength behavior of longitudinal stiffened tubular member.

**Table 3.** Comparison of cross-section area for different thicknesses (Unit= $m^2$ )

1.5D-20t	1.5D-20t with stiffeners ( $h_w=150$ mm)	1.5D-24t	1.5D-28t
0.0529	0.0541	0.0636	0.0742

탄소성대변형해석을 수행하였다.

Fig. 9(a)는 보강재의 크기에 따른 최종강도특성을 나타내었다. 보강재( $h_w=125$  mm)가 있을 경우 약 15.4%의 강도증가가 있으며, 웹 높이가 커질수록 최종강도는 증가하였다. 그러나, 보강재 설치에 따른 최종강도 증가값은 웹 높이가 커질수록 감소하는 경향을 보였다. Fig. 9(b)는 변형된 형상과 함께 등가응력을 보여준다.

Table 3은 2.1절에서 제시된 두께 28 mm, 4.2절에서 계산된 두께 24 mm, 본 절에서 제시된 두께 20 mm의 웹 높이가 150 mm ( $h_w$ )경우의 단면적을 비교하였다. 보강재를 설치할 경우 기존의 값에서 2.3%의 단면적이 증가하는 반면에, 최종강도는 17.9% 증가한다. 또한, 두께 28 mm 경우 보다 37.2%, 24 mm 경우보다 17.5% 재료비 절감효과가 있다.

최적해석결과와 탄소성대변형 해석 결과를 바탕으로 부유식 진자형 파력발전장치의 원통부재는 직경 1.5 m 두께 20 mm의 보강재 ( $h_w=150$  mm)가 설치된 경우가 극한환경조건을 만족하면서, 비용을 절감할 수 있는 하나의 안임을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 고찰

본 논문은 상용유한요소프로그램을 사용한 탄소성대변형 해석을 통해 부유식 진자형 발전장치의 원통부재에 대한 최종강도를 조사하였으며, 이를 바탕으로 다음과 같은 결론들을 얻었다.

1) 부유식 파력발전장치 연결부의 총 4개의 변수를 실험계획법을 통해 지름, 수직간격, 두께, 수평간격 순으로 민감도를 가짐을 확인하였다.

2) 고유모드 해석을 통해 원통부재에 작용하는 주요하중은 굽힘 하중과 비틀림하중임을 확인하였다.

3) 원통부재의 직경을 크게하거나, 판의 두께를 두껍게 하는 방법과 보강재를 사용하여 단면적을 크게하는 것이 최종강도를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

4) 탄소성 대변형 해석을 통해 직경 1.5 m, 20 mm의 150 mm가 극한조건을 만족하는 최적화 된 값을 확인하였다.

본 연구에서 진행된 원통부재의 경우 상당한 길이를 가지는 구조물이기에, 오랜 기간 운영 시 처짐 등의 변형과 구조물의 운동으로 인해 갑작스런 응력 증가 등으로 인해 본래의 최종강도를 가지지 못할 수 있다. 이에 따라, 다수의 원통부재 해석을 통해 파력발전장치의 안전성을 확보할 수 있는 구조설계 방안연구를 수행할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 한국해양과학기술원에서 주요사업으로 수행중인 “부유식 진자형 파력발전 기술개발 및 실증(PES170A)”과 해양수산부

과제 “10 MW급 부유식 파력-해상풍력 연계형 발전시스템 설계기술개발 및 인프라 구축(PMS267A)”의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] ANSYS, 2013, User's manual (Version 14.5), ANSYS Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA.
- [2] ANSYS Design Exploration, 2013, User's guide, ANSYS Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA.
- [3] Crisfield, M.A., 1983, “An arc-length method including line searches and accelerations”, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 19, 1269-1289.
- [4] DNV, 2012, Structural design of offshore units (WSD method), Det Norske Veritas, Oslo, Norway.
- [5] Jin, J.Y., Hyun, B.S., Liu, Z. and Hong, K.Y., 2010, “Numerical Prediction of Chamber Performance for OWC Wave Energy Converter”, Journal of KOSMEE, Vol. 13, No. 2, 91-98.
- [6] Jung, D.H., Nam, B.W., Shin, S.H., Kim, H.J., Lee, H.S., Moon, D.S. and Song, J.H., 2012, “Investigation of safety and design of mooring lines for floating wave energy conversion”, Journal of KSOE, Vol. 26, No. 4, 77-85.
- [7] Nam, B.W., Hong, S.Y., Kim, K.B., Park, J.Y. and Shin, S.H., 2011, “Numerical analysis of wave-induced motion of floating pendulum wave energy converter”, Journal of KSOE, Vol. 25, No. 4, 28-35.
- [8] Paik, J.K., Kim, B.J., Sohn, J.M., Kim, S.H., Jeong, J.M. and Park J.S., 2012, “On buckling collapse of a fusion-welded aluminum stiffened plate structure: an experimental and numerical Study”, Journal of OMAE, Vol. 134, No. 2, 021402 (8pages).
- [9] Park, C.M. and Lee, S.H., 2002, “Ultimate strength analysis of ring-stiffened cylinders using commercial softwares (II)”, Journal of KSOE, Vol. 16, No. 1, 36-40.
- [10] Park, J.Y., Shin, S.H. and Hong, K.Y., 2011, “Experimental study for overtopping performance and control system of overtopping wave energy converter”, Journal of KOSMEE, Vol. 14, No. 1, 11-18.
- [11] Park, J.Y., Shin, S.H., Hong, K.Y. and Kim, S.H., 2012, “A study on the wave response and efficiency of a pendulum wave energy converter”, Proceedings of the 22nd International Offshore and Polar Engineering Conference, Rhodes, Greece, June 17-22.
- [12] Sohn, J.M., Nam, B.W., Cheon, H.J., Shin, S.H. and Hong, K.Y., 2012, “A preliminary structural analysis of the floating pendulum wave energy converter under wave loadings”, Proceedings of the 1st Asian Wave and Tidal Conference, Jeju, Korea, November 27-30.

2013년 12월 9일 원고접수

2014년 1월 16일(1차), 2014년 2월 12일(2차) 심사수정일자

2014년 2월 13일 게재확정일자