

해양플랜트 Top Side 연결격점부 강도개선방안 연구

A Study of Strength Improvement Method for Connection Panel Point on Offshore Plant Top Side

박진은* · 경갑수** · 문현기*** · 조윤재****

Park, Jin-Eun · Kyung, Kab-Soo · Moon, Hyun-Gi · Cho, Yun-Jae

요약

해양플랜트 구조물은 대양에서 파력을 비롯한 바람 등과 같이 자연에 의해 발생하는 다양한 외력을 구조물 사용기간 동안 지속적으로 랜덤하게 받게 되므로 이로 인한 피로현상이 발생하게 된다. 특히 용접부로 이루어진 격점부는 복잡한 기하형상의 영향으로 피로에 대해 취약구조가 되므로 피로강도향상은 해양플랜트 구조의 안전성에 중요한 요인이 된다. 본 연구에서는 격점부에 대한 구조상세에 관련한 설계기준 및 평가방법을 조사하였으며, 고정식 Jacket 구조물을 대상으로 프레임요소를 사용하여 구조해석을 실시하여 공용하중에 대한 구조거동을 분석하였다. 또한 격점부의 강도평가방법 및 연결부 피로강도를 개선하기 위하여 프레임요소의 구조해석을 토대로 복잡한 기하형상을 가진 KT형 관이음부(Tubular Joints)에 대해 상세해석을 실시하였다.

keywords : Offshore Structure, Top Side, 연결격점부, 피로강도, 용접이음부

1. 서론

해양플랜트 구조물은 여러 가지 환경조건에 의해서 관리하기 쉬운 용접이음부의 형태로 이루어져있다. 따라서 대양에서 파력을 비롯한 바람 및 파력 등과 같이 다양한 외력을 구조물 사용기간 동안 지속적으로 랜덤하게 받게 되므로 이로 인한 피로현상이 발생하게 된다. 특히 용접부로 이루어진 격점부는 복잡한 기하형상의 영향으로 피로에 대해 취약구조가 되므로 피로강도향상은 해양플랜트 구조물의 안전성에 중요한 원인이 된다.

본 연구에서는 격점부에 대한 구조상세에 관련한 설계기준 및 평가방법을 조사하였으며, 고정식 Jacket 구조물을 대상으로 프레임요소를 사용한 구조해석을 실시하여 공용하중에 대한 구조거동을 분석하였다. 그리고 격점부의 강도평가방법 및 연결부 피로강도를 개선하기 위하여 프레임요소의 구조해석을 토대로 복잡한 기하형상을 가진 KT형 관이음부(Tubular Joints)에 대해 상세해석을 실시하였다. 또한 용접이음부의 응력집중계수와 파괴거동에 큰 영향을 미치는 β , γ , τ 등의 무차원형상비 값의 관계를 규명하고, 각 모델에 대한 응력해석 결과를 이용해 개선방향의 활용성 및 적정성에 대해 분석하여 합리적인 이음형상을 설계하는 기초 자료를 제공하고자 한다.

* 학생회원 · 한국해양대학교 토목공학과 박사과정 pje1101@naver.com

** 정회원 · 한국해양대학교 토목공학과 부교수 kyungks@hhu.ac.kr

*** 한국해양대학교 토목공학과 석사과정 page4u35@nate.com

**** 한국해양대학교 토목공학과 학사과정 qraweds@nate.com

2. 용접이음부의 설계기준

용접이음부의 설계기준은 “ESDEP 15A.7 : Tubular Joints in Offshore Structures”를 참조하여 적용하였다. 응력집중부를 감소시키기 위하여 Tubular Joints에 대해서는 다음과 같은 규정을 적용하고 있다.

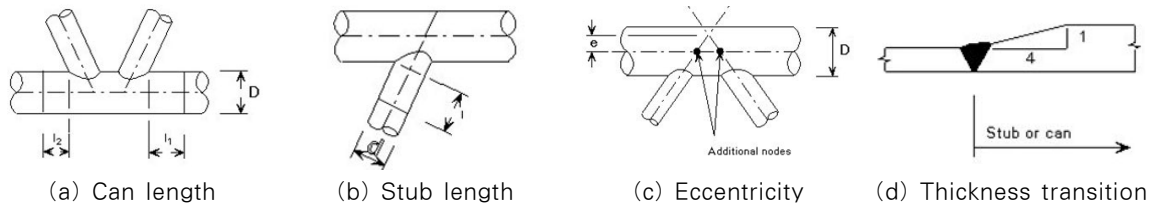


그림 1 Tubular Joints 각 부분별 규정

그림 1과 같이 Can length의 l_1, l_2 은 Can의 직경 D 의 $1/4$ 이나 300mm 보다는 커야하며, Stub length의 경우도 마찬가지로 Stub 직경 d 가 600mm 이상 되어야 한다. e (편심)은 두 개의 브레이스(brace)의 중심축의 교차점이 코드(chord)의 중심축선과 이루는 편심거리를 뜻하는데, e 는 Can의 직경 D 의 $1/4$ 보다는 커야한다. 이 이음부에서의 응력집중과 파괴에 대한 저항력을 고려하여 두께를 상향조정한 Can과 Stub의 Taper는 $1:4$ 의 경사가 설계에서 적용된다. K-Joints의 경우 두 브레이스(brace) 용접 지단부의 사이거리를 g 로 정의하는데 최하 50mm 보다는 커야하며 보통 $70\text{mm} \sim 75\text{mm}$ 를 사용한다.

3. 대상구조물 및 구조해석

3.1. 대상구조물

연결격점부의 강도개선방안을 위하여 대상구조물을 선정하고 구조해석을 실시하여 용접이음부의 응력집중부의 구조거동을 확인하였다. 대상구조물은 공용중인 원형(Tubular)단면의 고정식 Jacket 구조물로서 일반도는 그림 2에 나타내었다. 또한 연결격점부 응력분포의 검토위치는 KT형 및 N형 이음부가 교차되는 구조거동이 복잡한 부분을 대상으로 선정하였다.

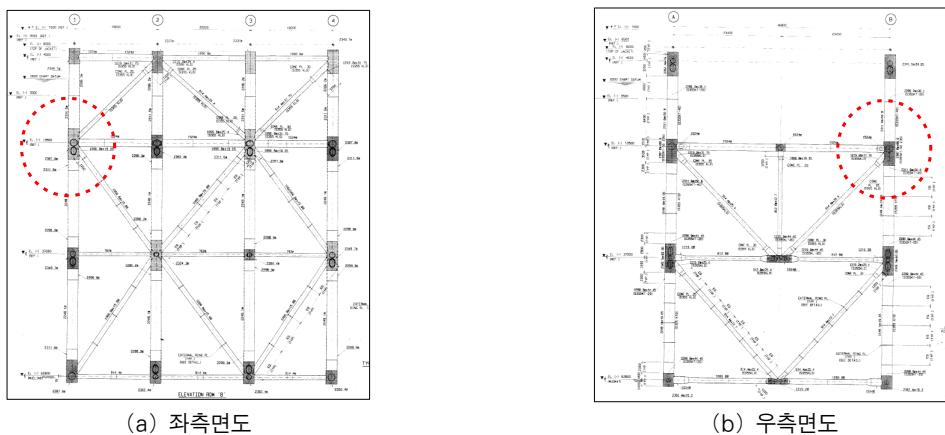


그림 2 Jacket 구조물의 일반도

3.2. 대상구조부재의 설계기준 검토

대상구조부재의 무차원형상비 제한범위에 대한 검토결과, 설계기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 이에 대한 내용을 표 1에 나타내었다.

표 1 검토대상부재의 무차원형상비 제한범위 검토

매개변수	제한범위	한 계		N형 이음부		K형 이음부		
		최소	최대	수직재	사재	수직재	사재(상)	사재(하)
$\beta = d/D$	0.4~0.8	0.2	1.0	0.51	0.38	0.63	0.38	0.44
$\gamma = D/(2T)$	12~20	10.0	30.0	11.86	11.86	11.86	11.86	11.86
$\tau = t/T$	0.3~0.7	0.2	1.0	0.44	0.25	0.63	0.31	0.25

- 1) β : 지부재와 주부재의 직경비 (이음부의 조밀도 및 지부재하중의 집중도)
- 2) γ : 주부재 반경에 대한 주부재의 벽두께비 (주부재의 강성도의 기준)
- 3) τ : 지부재와 주부재의 두께비

3.3. 구조해석

대상구조부재의 해석모델은 3차원 Shell요소의 상세모델을 적용하였으며, 해석프로그램은 범용구조 해석프로그램인 MIDAS Civil을 사용하였다. 구조해석에 적용된 강재는 S355를 적용하였으며, 경계조건은 주부재(Chord)부는 고정단, 부부재(Brace)부는 자유단으로 적용하였다. 하중조건은 응력집중부의 발생위치를 확인하기 위하여 강재변위를 주부재의 경우 1mm, 부부재의 경우 0.5mm 및 1mm를 적용하였으며 용접이음부 최대응력이 발생하는 가능조건을 8가지로 선정하여 해석을 실시하였다. 또한 KT형 이음부와 N형 이음부 각각을 모델링하여 구조거동과 비교하였다. 그림 3에 각각의 구조해석 모델을 나타내었으며, 표 2에 검토대상부재(KT형 & N형 이음부)의 하중조건을 나타내었다.

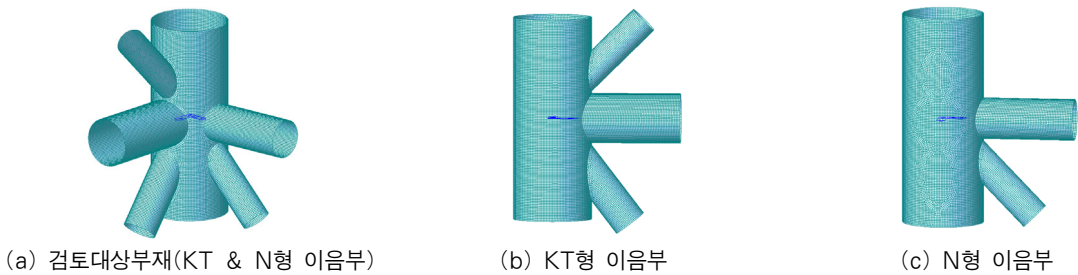


그림 3 구조해석 모델

표 2 검토대상부재의 하중조건 및 하중경우 (단위 : mm)

구 분		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
N형 이음부	수직재	-1.0	+1.0	+1.0	-1.0	-1.0	+1.0	+1.0	-1.0
	사재	-1.0	+1.0	+1.0	-1.0	-0.5	+0.5	+0.5	-0.5
K형 이음부	수직재	+1.0	+1.0	-1.0	-1.0	+1.0	+1.0	-1.0	-1.0
	사재(상)	+1.0	+1.0	-1.0	-1.0	+0.5	+0.5	-0.5	-0.5
	사재(하)	+1.0	+1.0	-1.0	-1.0	+0.5	+0.5	-0.5	-0.5

4. 해석결과

구조해석 모델별 응력선도의 일례를 그림 4에 나타내었다. 검토대상부재와 KT형 이음부에서는 응력집중 위치가 새들부에서 발생하였으며, N형 이음부는 크라운부에서 응력집중이 발생하였다. 이는 구조상세가 복잡해짐에 따라 응력집중부의 위치가 변화하는 것을 알 수 있었으며, 여러 하중경우에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다.

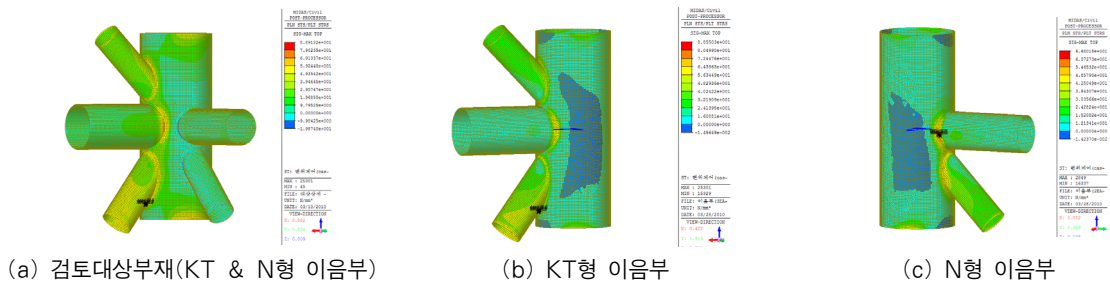


그림 4 구조해석 모델별 응력선도의 일례

5. 결론

1. 연결격점부의 강도개선방안을 위해 대상구조물을 선정하였으며, 대상구조부재위치에 대한 무차원형상비를 검토한 결과, 설계기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다.
2. 검토대상부재와 KT형 이음부에서는 응력집중위치가 새들부에서 발생하였으며, N형 이음부는 크라운부에서 응력집중이 발생하였다. 이는 구조상세가 복잡해짐에 따라 응력집중부의 위치가 변화하는 것을 알 수 있었으며, 여러 하중경우에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다.

6. 향후연구과제

공용 대상구조물에 대한 전체계해석을 실시하여 상세해석의 경계조건을 적용하고, 용접이음부를 솔리드상세해석 모델을 통해 용접이음부의 형상에 따른 응력분포 및 구조거동 파악하여 적절한 강도개선방안에 대한 연구를 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- 김재동 (1995) 해양구조물 원통형연결부의 구조강도에 관한 실험적 연구, **박사학위, 충남대학교.**
 조현만 (2002) 환보강 관이음부의 정적강도 산정에 관한 연구, **박사학위, 부경대학교.**
 김태희 (2007) 해양플랜트공학, **선학출판사**, pp.17~48.
 ESDEP WG 13 Tubular Joints, pp.27~41.
 ESDEP WG 15A Offshore Structures, pp.80~85.