

파랑변화에 따른 해양구조물의 거동특성에 관한 연구

A Study on Behavior of Offshore Structures under Wave Variation

문 현 기* · 경 갑 수** · 박 진 은*** · 진 쌍 순**** · 김 진 곤*****

Moon, Hyun-Gi · Kyung, Kab-Soo · Park, Jin-Eun · Jun, Ssang-Sun · Kim, Jin-Gon

요 약

해양구조물은 다양한 외력으로부터 지속적인 영향을 받으며 특히, 파력은 구조물의 설계에 결정적인 인자로 간주된다. 해양구조물 파장과 구조물의 크기와의 상대적인 관계로부터 크게 소형구조물, 대형구조물, 대상구조물로 대별될 수 있다. 전통적으로 소형구조물은 회절파의 발생이 없는 것으로 가정하여 Morison 식으로부터 파력을 산정하고, 대형구조물은 회절파의 작용에 따른 관성력만을 고려하며, 대상구조물은 단면 2차원적인 파압만을 고려하여 Goda파압공식류로부터 작용파압을 추정하고 있다. 이러한 평가는 단주기 파랑의 작용에 근거를 두고 있고, 또 대형 및 대상구조물의 경우에는 유체의 점성력을 고려하고 있지 않으며, 특히 지진해일파의 작용에 대한 평가는 전혀 이루어지지 않는 것이 현재의 상태이다. 본 연구는 대형 구조물인 슬리트케이슨과 소형 구조물인 자켓구조물을 대상구조물로 선정하여 구조해석을 토대로 파랑의 변화에 따른 구조물의 거동특성을 연구하였다.

keywords : Offshore Plant, Shor-period Wave, Tsunami, Dynamic Wave Pressure

1. 서 론

2011년 3월 11일 일본에서 발생한 강진이 직접적인 영향이 되어 일본 동북부지방을 내습한 쓰나미는 수만의 인명피해와 천문학적인 경제적인 손실을 가져왔다. 국내의 지진해일 피해 사례로는 1983년 동해중부지진 해일과 1993년 북해도남서외해지진해일로 인하여 동해안에 위치한 임원항에서 3~5m의 처오름이 발생하였으며, 김(2007)등의 연구에 따르면 향후 일본의 지진공백역에서 발생가능한 지진해일에 의한 큰 피해가 예상된다.

지진해일파는 근해에 내습하여 오면 일반적으로 고립파(solitary waves)형태나 단파(bore)형태로 나타나며, 이는 지진해일파의 특성과 지형적인 요소에 크게 좌우된다. 따라서 본 연구에서는 고립파와 단파형태의 지진해일파를 비롯해 다양한 케이스의 파랑에 대한 특성 등을 연계연구로부터 받아, 이를 대상구조물에 적용할 수 있는 하중형태로 변환하고, 이를 대상구조물에 작용시켜 해양구조물에 작용하는 파력을 평가한다. 현재 잠재 형식의 방파제 등에서는 지진해일파의 영향을 고려하는 등의 연구가 진행되고 있으나, 본 연구에서 대상으로 하고 있는 자켓 및 슬리트케이슨 등과 같은 해양구조물에 대해 지진 해일에 의한 작용파압을 추정하여 구조물의 내파안정성에 대한 평가는 전혀 이루어지지 않는 것이 현재의 상태이다.

* 학생회원 · 한국해양대학교 토목공학과 석사과정 page4u35@nate.com

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

*** 한국해양대학교 토목공학과 박사과정 pje1101@naver.com

**** 한국해양대학교 토목공학과 연구교수 ssjun@hhu.ac.kr

***** 한국해양대학교 토목공학과 학사과정 deviljngon@dreamwiz.com

2. 대상 구조물에 작용하는 파랑

2.1. 규칙파 (Regular Wave)

규칙파란 파고와 주기가 일정하며 일정한 방향으로 진행되는 파랑을 말한다. 본 연구에서 적용하는 파랑의 경우, 3차원 수치파동수로를 통해 주기(T)와 파형경사(H/L)를 다르게 적용하여 12가지 케이스에 대한 파랑을 만들고 3차원혼상류프로그램으로 모델링된 슬릿케이슨으로부터 파압을 산정하였다.

2.2. 고립파 (Solitary Wave)

고립파는 파장이 무한히 길고 주기도 또한 무한대인 파도로서 실제 해안에서 볼 수는 없다. 그 파형은 전부 정수면 위에 있으며 파고(H)는 정수면으로부터 파봉까지의 높이가 된다. 본 연구에서는 지진해일파를 고립파로 가정하여 3차원 수치파동수로를 통해 만들어낸 규칙파의 12가지 케이스에서 파고(H)의 상대적인 값으로 고립파의 파압을 산정하였다. 표 1은 수치파동수로를 통해 제작된 파랑의 케이스와 제원을 나타내었다.

표 1 적용 파랑의 케이스별 제원

구분	주기 (T)	파장 (L)	파형경사 (H/L)		
			0.02	0.03	0.04
			규칙파고/고립파고	규칙파고/고립파고	규칙파고/고립파고
CASE 1	7 sec	73.490 m	1.5m / 075m	2.2m / 1.1m	2.9m / 1.45m
CASE 2	9 sec	109.499 m	2.2m / 1.1m	3.3m / 1.65m	4.4m / 2.2m
CASE 3	11 sec	144.009 m	2.9m / 1.45m	4.3m / 2.15m	5.8m / 2.9m
CASE 4	13 sec	177.261 m	3.5m / 1.75m	5.3m / 2.65m	7.1m / 3.55m

3. 대상구조물 및 구조해석

3.1. 대상구조물

다양한 파랑에 따른 구조물의 거동특성연구를 위해 대상구조물을 선정하고 구조해석을 실시하였다. 대상구조물은 공용중인 원형(Tubular)단면의 고정식 Jacket 구조물과 저반사 Slit 케이슨으로서 일반도를 그림 1에 나타내었다.

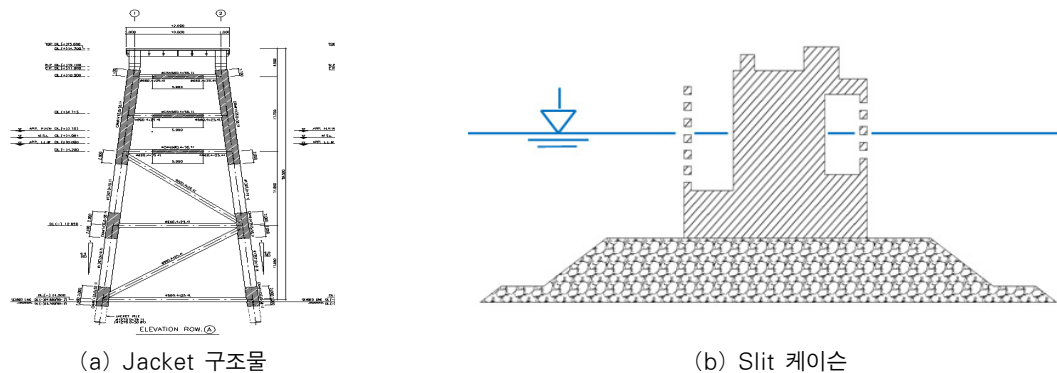


그림 1 대상구조물

3.2. 구조해석

Jacket 구조물의 해석모델은 3차원 Frame모델로 전체계해석에 진행하였으며, 해석프로그램은 Windows 기반의 Graphical User Interface(GUI)가 가능하고 모델링 및 결과 정리가 용이하여 최근 구조해석에 널리 이용되고 있는 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS/CIVIL를 사용하였다. 적용한 하중조건은 설계 조건하에서 풍력, 자중, 파력등을 고려하여 구조안정성을 검토하였으며, 파랑 케이스별로 파력만을 적용하여 부재별 거동을 나타내었다.

Slit 케이스의 해석모델 또한 MIDAS/CIVIL을 사용하여 구조해석을 진행하였으며, 3차원 Solid 모델을 적용하였다. 적용하중조건은 자중과 유수실 전면부와 내부에 작용하는 파압을 적용하였으며, 케이스와 사석마운드 사이의 경계조건은 전면 고정단으로 처리하여 양압력의 영향을 배제하였다. Jacket 구조물과 Slit 케이스의 3차원 구조해석 모델은 그림 2에 나타내었다.

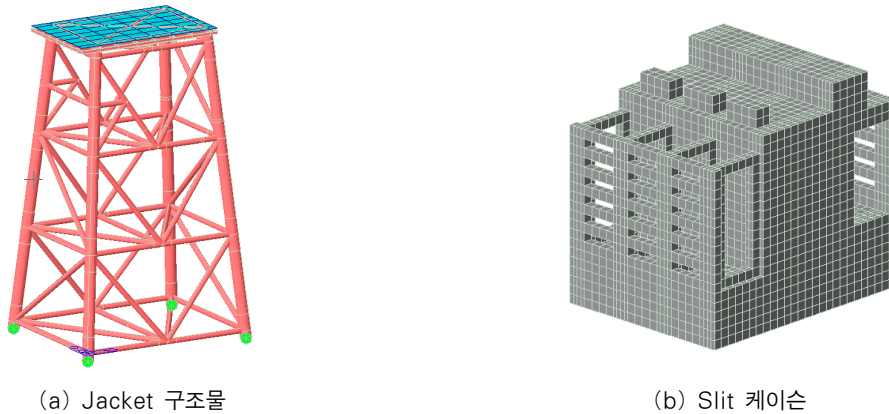


그림 2 대상구조물 구조해석 모델

3.3. 구조해석 결과

3.3.1. Jacket 구조물의 해석결과

설계하중조건하에서 구조안정성을 검토하였다. Jacket을 구성하는 5가지의 부재에 작용하는 최대 단면력을 산출하여 계산한 최대응력과 허용응력을 비교하여 표 2에 나타내었다.

표 2 부재별 최대응력 및 허용응력

	Axial (N)	Moment (N·m)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	y (mm)	σ_{max} (MPa)	σ_{allow} (MPa)	판정
CAN	3413980	839397128	167201	40813490000	717.5	35.18	190	O.K
FH	87037	56578662	74486	3619171000	330.2	6.331	190	O.K
CN1-CN4	87037	222050517	50670	2558050000	330.2	30.38	190	O.K
LEG	3150691	282037738	82680	19625910000	698.5	48.15	190	O.K
BRACE	91518	300394275	50670	2558050000	330.2	40.58	190	O.K

3.3.2. Slit 케이스의 해석결과

표 3에 Slit구조물의 최대주응력을 규척파와 고립파로 분류하여 Case별로 정리했다. 주기와 파장이 무한한 고립파는 규척파 파고의 상대적으로 대응하는 값으로 계산하여 분류하였다.

표 3 CASE에 따른 구조물의 응력비교

구 분	주 기(T)	파 장(L)	파형경사 (H/L)	규 칩 과				고 립 과			
				최대주응력(MPa)				최대주응력(MPa)			
				불투과성해저		투과성해저		불투과성해저		투과성해저	
압축	인장	압축	인장	압축	인장	압축	인장				
CASE 1-1	7 sec	73.49m	0.02	1.001	0.786	0.999	0.784	1.286	1.056	1.229	1.009
CASE 1-2			0.03	1.058	0.844	1.053	0.839	1.535	1.299	1.437	1.217
CASE 1-3			0.04	1.159	0.946	1.147	0.935	1.826	1.580	1.688	1.466
CASE 2-1	9 sec	109.5m	0.02	1.236	1.017	1.177	0.958	1.534	1.299	1.437	1.218
CASE 2-2			0.03	1.432	1.212	1.356	1.137	1.982	1.728	1.832	1.607
CASE 2-3			0.04	1.624	1.400	1.513	1.292	2.414	2.156	2.242	1.996
CASE 3-1	11 sec	144.009m	0.02	1.529	1.302	1.453	1.228	1.826	1.580	1.688	1.466
CASE 3-2			0.03	1.817	1.579	1.711	1.476	2.374	2.113	2.204	1.963
CASE 3-3			0.04	2.157	1.915	2.073	1.828	2.934	2.695	2.809	2.549
CASE 4-1	13 sec	177.267m	0.02	1.842	1.600	1.602	1.372	2.059	1.800	1.916	1.686
CASE 4-2			0.03	2.305	2.067	2.033	1.784	2.751	2.505	2.584	2.359
CASE 4-3			0.04	2.809	2.578	-	-	3.494	3.178	3.476	3.080

4. 결 론

- 1) 설계하중조건하에서 Jacket구조물의 구조안정성 검토 결과, 5가지의 부재들의 최대응력이 허용응력을 초과하지 않아 구조물 전체적으로 안정한 것으로 판단된다.
- 2) Slit 케이슨의 Case1~Case4의 해석결과 주가가 길어짐에 따라, 혹은 파형경사가 클수록 구조물의 최대 응력도 커지는것을 알 수 있다.
- 3) 불투과성 해저지반일때 구조물에 작용하는 응력은 투과성 해저지반과 비교해서 크게 나타나는 것을 알 수 있다.
- 4) 규칙파와 고립파를 Case별로 비교하였을 경우 고립파가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 같은 조건하에서 규칙파보다 고립파가 더 위력적이며, 쓰나미와 같은 장주기파랑이 구조물에 심각한 손상을 초래함을 알 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

김도삼 (2007) 일본 지진공백역에서의 지진해일이 우리나라의 남동연안에 미치는 영향분석, 교수, 한국해양대학교 (2011) 해안환경공학, 구미서관, pp.171~245
 김태희 (2007) 해양플랜트공학, **선학출판사**, pp.17~48.
 ESDEP WG 13 Tubular Joints, pp.27~41.
 ESDEP WG 15A Offshore Structures, pp.80~85.