

파랑하중을 적용한 3차원 플로팅 구조물 해석

† 송 화철 · 박 종서*

† 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수, *한국해양대학교 대학원

요 약 : 육상의 자원고갈로 인한 해양자원의 관심 증가로 플랜트 사업의 수요가 증가함에 따라 플로팅 구조물의 안전성 확보를 위한 구조해석이 필요하다. 이 연구에서는 범용 유한요소 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 3차원 플로팅 구조물의 상부구조물에 정적하중과 진폭의 크기가 다른 파랑하중을 적용하여 모멘트 및 변위를 비교한다.

핵심용어 : 플로팅, 상부구조물, 파랑하중, 모멘트, 최대변위

서 론


플로팅 구조물 특성



요코하마 여객 터미널

- 국토면적에 비하여 해안선이 길기 때문에 사회·경제적 여건만 조성된다면 플로팅 해양건축물의 잠재력은 무한
- 바다 위에 떠 있는 부유시스템을 갖는 건축물을 의미하고, 인간의 거주·휴양·업무·오락·전시·관람 등의 목적으로 사용
- 항해를 목적으로 하고 있지 않으며, 항해를 위한 선박과는 확연하게 구분

해석 목적



벚스전에 위치한 플로팅홈

- 육상의 자원고갈로 해양자원의 관심 증가로 인한 플랜트 사업수요 증가
- 파랑하중에 의한 시설의 안전성 확보
- 환체 구조물과 상부 구조물의 일체화 해석

정적하중 및 파랑하중을 적용하여 모멘트 및 변위 분석

플로팅 구조물 장·단점

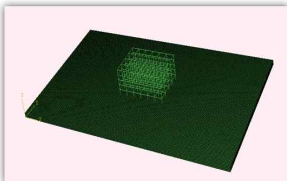
장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> · 이동 가능하며 풍일, 화랑, 일거가 용이 · 여러 곳에서 동시에 건조가능 · 수심 및 지반 특성에 무관 · 지진에 대해 안전 · 건설 공해 및 해역 환경영향 적음 · 지반침하/부동침하 고려 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 계류장치 필요 · 바람, 파도에 의한 다소의 풍요 · 조수 간만의 의한 육지와의 높이 차이 · 굴절·반사 및 진동에 대한 대책 필요 · 내구성의 한계, 자산 가치 하락 · 보수/유지제 상당액 고려비용

플로팅 구조물의 장·단점

- 육상에 건립되는 건축에 비해 플로팅 해양건축은 바다 위에 건립되기 때문에 태양열, 태양광, 풍력, 해수열 등의 청정에너지를 획득하기가 훨씬 용이함
- 플로팅 해양건축은 녹색성장에 적합한 그린홈(green home)의 좋은 유형으로 간주될 수 있음

적용 예제 구조물

상하부 구조물



상하부 모델

	하부구조	상부구조
길이	196m(7m*28)	42(7m*6)
너비	112m(7m*16)	28(7m*4)
높이	3m	17.5m(3.5m*5)
기둥 (S8400)	C1	H-400*400*13*21
	C2	H-440*300*11*18
보 (S8400)	B1	H-500*200*10*16
	B2	H-450*200*8*14

상하부 구조물

하부 구조물의 판의 두께가 얇아 좌굴 방지를 위한 격벽 설치

X, Y 방향 4개의 축 스프링으로 계류장치 표현

Z 방향 하부부체 바닥의 22261개의 축 스프링으로 부력 표현

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업(과제번호: 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

† 교신저자 종신회원) song@hhu.ac.kr

* 일반회원 miazue@hanmail.net

재료특성

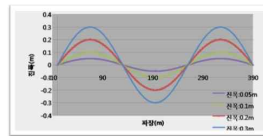
중 질량	30139.025t
밀도	78500N/m ³
포아송비	0.3
탄성계수	210 GPa
길이	1.346m
스프링 상수	10100N/m

재료특성

모델 자중에 홀수(1.346m)를 나누어 전체 스프링 상수를 구한 후 전체 스프링 상수가 적용되는 하부 바닥판의 노드의 수로 나누어 단위 스프링 상수(10100N/m)를 구함

강재 SS400의 물성치를 따름

파랑하중



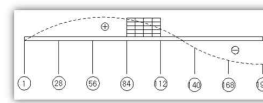
파랑하중

파장은 260m로 가정하고 진폭은 0.05m, 0.1m 0.2m, 0.3m일 경우를 가정하여 적용

$$y = y \sin(\omega t)$$

여기서, y = 진폭 (m), $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T = 주기, t = 시간 (s)

경간	진폭 5cm	진폭 10cm	진폭 20cm	진폭 30cm
0	0	0	0	0
28	0.031	0.063	0.125	0.188
56	0.049	0.098	0.195	0.293
84	0.045	0.090	0.179	0.269
112	0.021	0.042	0.084	0.126
140	-0.012	-0.024	-0.048	-0.072
168	-0.040	-0.079	-0.159	-0.238
196	-0.090	-0.100	-0.200	-0.300



상하부 구조물 지점 범위

하중 산정

정적하중

- 고정하중

부재의 자중을 포함하여 구조물에 영구히 설치되는 모든 구성요소들의 무게를 포함한 자중 적용 \rightarrow 4640 N/m²

- 활하중

건물의 입주자나 사용자와 함께 가구, 사무용가구, 전장품 등 건물의 점우에 의하여 생기는 하중을 적용 \rightarrow 2650 N/m²

- 풍하중
건축구조설계 기준을 적용하여 최악의 조건인 노풍도 D와 기본풍속 V0=40m/s 를 적용 \rightarrow 46550N

파랑하중 적용시 구조해석

정적하중 모멘트 비교

정적하중			
Element	M(N-m)	Element	M(N-m)
1	1.05E+05	4	1.45E+05
center	-1.20E+05	center	-1.02E+05
1	2.02E+05	4	1.98E+05
2	1.44E+05	5	1.48E+05
center	-1.03E+05	center	-1.04E+05
2	1.97E+05	5	1.91E+05
3	1.45E+05	6	1.44E+05
center	-1.02E+05	center	-1.10E+05
3	1.95E+05	6	1.76E+05

정적하중 모멘트

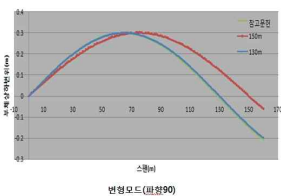
- 보 부재에 작용하는 정적하중

풍하중에 의해 일반적인 등분포 하중 모멘트 형태에서 변형되어 부재의 좌측 단부가 모멘트 값이 커짐

최 좌측 부재의 오른쪽 단부에서 최대 모멘트가 발생

중앙부의 모멘트 역시 최 좌측 부재에서 가장 크게 발생

파랑하중



- 주기와 진폭을 가정한 가상파랑하중(사인함수) 적용

- 부채상하변위의 진폭은 파향이 90°인 경우 종방향으로 치는 경우로 진폭의 크기가 가장 큰 값을 갖게 됨

- 파향 90°일때 변형모드를 진폭 30cm, 반파장 130m, 및 150m에 대한 변형 모드를 비교할 경우 반파장 130m일 때 탄성 응답해석의 결과 값과 거의 일치

- 파장과 진폭을 가정한 가상변형모드를 이용하여 파랑하중의 산정이 가능

파랑하중 모멘트 비교

파랑하중			
Element	M(N-m)	Element	M(N-m)
1	-8.88E+04	4	2.45E+04
center	-4481.	center	4352.
1	7.89E+04	4	-1.88E+04
2	-1.48E+04	5	3.31E+04
center	7896.	center	4484.
2	3.25E+04	5	-2.42E+04
3	-58.46	6	5.73E+04
center	4737.	center	-5378.
3	9532	6	-6.80E+04

파랑하중 모멘트

- 보 부재에 작용하는 파랑하중

변위하중의 영향으로 비대칭적인 모멘트 양상을 보여줌

오른쪽 부재로 갈수록 처음과는 달리 모멘트 양상이 뒤바뀌게 되며 단부 부재에서 모멘트가 크게 작용

전체 부재의 최대 모멘트는 정적하중과 동일한 위치에서 발생

조합하중 모멘트 비교

정적하중 - 파랑하중			
Element	M(N-m)	Element	M(N-m)
1	1.80E+04	4	1.89E+05
center	7116.	center	-2.60E+04
1	2.78E+05	4	1.82E+05
2	1.27E+05	5	1.81E+05
center	-1213.	center	-3.49E+04
2	2.29E+05	5	1.86E+05
3	1.48E+05	6	2.01E+05
center	-1.50E+04	center	-7.34E+04
3	2.04E+05	6	1.09E+05

조합하중 모멘트

- 부재에 작용하는 조합하중

정적하중의 모멘트 값과 파랑하중의 모멘트 값의 합쳐진 결과로 보의 왼쪽 단부에는 모멘트가 줄어들고 오른쪽 단부에는 모멘트가 증가하는 일반적인 등분포 하중 모멘트 형태에서 변형된 양상을 보여줌

최 좌측 부재의 오른쪽 단부에서 최고 모멘트가 발생

중앙부 모멘트는 최 우측 부재에서 가장 크게 발생

최대 변위 비교

정적하중	파랑하중 (0.2m)	정적하중+파랑하중(0.2m)
변위	0.016(H1093)	0.096(H267)

파랑하중(0.2m)이 작용했을 경우 변위 비교

- 파랑하중의 진폭 0.2m의 경우 진폭 0.05m의 경우보다 변위가 4배가량 증가

- 조합하중의 경우 정적하중과 파랑하중(진폭 0.2m)의 변위를 합한 만큼의 변위를 얻음

- 파랑하중의 진폭 0.3m의 경우 진폭 0.05m의 경우보다 변위가 6배가량 증가

- 조합하중의 경우 정적하중과 0.2m, 0.3m의 파랑하중의 변위를 합한만큼 변위를 얻음

- 진폭 0.2m, 0.3m의 파랑하중과 조합하중의 경우 기준치인 H/400를 만족하지 못함

정적하중	파랑하중 (0.3m)	정적하중+파랑하중(0.3m)
변위	0.016(H1093)	0.098(H177)

파랑하중(0.3m)이 작용했을 경우 변위 비교

건물 변형 제한치

건물부	변형허용치
관제탑	H/667
여객취급센터	H/600
지남고	H/600
에너지센터	H/600
철도역	H/400
항공보안시설장사	H/400
청사	H/400
여객터미널	H/400 ~ H/600

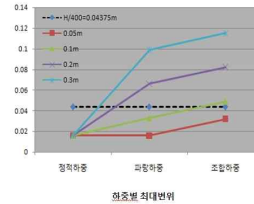
건물의 변형제한치(간사하중상 시설계 예)

- 일반적인 건물의 수평 변위는 건물의 용도에 따라 건물 높이의 H/750~H/250 까지 허용

- 플로팅 구조물에 대해서는 정확한 기준이 없으므로 간사하중 상 시설계에 적용된 예를 기준으로 허용치를 적용

- 간사하중 상 시설계 중 본 논문의 변위 제한치는 건물의 용도를 청사로 가정하여 H/400를 최대 기준치로 하여 비교

하중별 최대변위



- 진폭이 증가에 따라 구조물의 최대 변위가 비례적으로 증가

- 정적하중의 경우 최대 변위는 기준치를 충분히 만족

- 파랑하중의 경우 최대 변위는 진폭 0.05m를 제외하고 기준치를 만족하지 못함

최대 변위 비교

정적하중	파랑하중 (0.05m)	정적하중+파랑하중(0.05m)
변위	0.016(H1093)	0.016(H1067)

파랑하중(0.05m)이 작용했을 경우 변위 비교

- 정적하중과 파랑하중(진폭 0.05m)을 조합하였을 경우 변위가 2배 가량 증가
정적하중, 파랑하중, 조합하중 모두 기준치인 H/400를 만족

- 파랑하중을 두배 증가시킨 진폭 0.1m의 경우 진폭 0.05m의 경우보다 변위가 두배 가량 증가
조합하중의 경우 정적하중과 파랑하중(진폭 0.1m)의 변위를 합한 만큼의 변위를 얻음

정적하중	파랑하중 (0.1m)	정적하중+파랑하중(0.1m)
변위	0.016(H1093)	0.032(H933)

파랑하중(0.1m)이 작용했을 경우 변위 비교

- 정적하중과 파랑하중의 경우 기준치인 H/400에 만족하였지만 조합하중의 경우 기준치를 만족하지 못함

결론

- 1층 보 부재의 모멘트를 비교한 결과 최 좌측 부재의 왼쪽에서 최대 모멘트가 발생하였다.
- 진폭 0.3m의 파랑하중의 조합한 결과 좌측 부재에서는 최대 모멘트가 증가하고 우측부재에서는 감소하였다. 이는 파랑하중이 합체구조물의 강제 지점변위에 의한 모멘트값의 우측부재에는 +로 작용하지만 좌측부재에서는 -로 작용한 결과이다.
- 정적하중만 작용하였을 경우 변위 허용치인 H/400에 만족한 결과를 얻었지만 파랑하중의 진폭이 증가할수록 변위 허용치를 만족하지 못하였다. 파랑하중이 증가할수록 구조물의 변위가 크게 증가한다는 것을 알 수 있다.
- 플로팅 구조물의 경우 파랑하중에 의한 영향으로 변위가 크게 작용하기 때문에 횡변위 저항시스템이 필요하다