

파랑하중을 받는 플로팅 모듈러 구조물의 해석

† 송 화철 · 김 세철*

† 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수, *한국해양대학교 해양건축공학과 석사과정

요 약 : 해양 플랜트의 관심의 증가로 사업의 수요가 많아지고 플랜트 사업이 상부구조물로서 경량체인 모듈러시스템을 상부구조물로서 적용된다면, 그에 따른 파랑하중을 적용시킨 모듈러시스템의 구조해석이 필요하다. 이 연구에서는 파랑하중이 모듈러시스템에 끼치는 영향을 알아보기 위해 구조해석 프로그램인 MIDAS를 사용하여 모듈러시스템에 정적하중과 조합하중의 모멘트를 비교·분석한다.

핵심용어 : 플로팅구조물, 모듈러 시스템, 접합부 경계조건, 파랑하중, 하중조합

서론

플로팅 구조물 특성



요코하마 여인 타워빌

- 극트면적에 비하여 해안선이 길기 때문에 사회적·경제적 여건만 조성된다면 플로팅 해양 건축의 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

- 육상에 건립되는 건축에 비해 플로팅 해양건축은 바다 위에 건립되기 때문에 태양열, 태양광, 풍력, 해수열 등의 청정에너지를 획득하기가 훨씬 용이함

상부구조물의 모듈화 및 경량화



영조강에 위치한 플로팅빌

상부구조물의 경량화는 플로팅 구조물을 설계하는 데 커다란 이점으로 작용

모듈러 시스템은 경량인데다가 시공적인 측면에서 용이하며, 공기를 단축시키는 장점을 가짐



파랑하중을 고려한 모듈러시스템의 구조해석이 필요

상부구조물의 모듈화 및 경량화



영조강에 위치한 플로팅빌

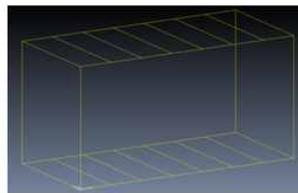
상부구조물의 경량화는 플로팅 구조물을 설계하는 데 커다란 이점으로 작용

모듈러 시스템은 경량인데다가 시공적인 측면에서 용이하며, 공기를 단축시키는 장점을 가짐



파랑하중을 고려한 모듈러시스템의 구조해석이 필요

모듈러 시스템 모델링



길이	5.7m
너비	2.7m
높이	3.0m
기둥(SPSR400)	C - 100 × 100 × 6.0
바닥콘크리트(S5400)	C - 175 × 50 × 4.5
천장콘크리트(S5400)	C - 175 × 50 × 4.0
장출보(SPSR400)	C - 100 × 50 × 2.3

- 본 유닛의 좌출보의 역할은 구조적 이유가 아닌 중, 공강 제작시 천장 조립의 용이성과 양중할 때 복시 발생할 지 모르는 천장 골조 강변방향 콘크리트의 골과골을 방지하는 역할만 함

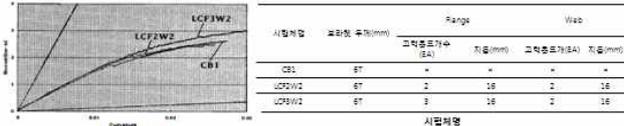
- 바닥 지지조건은 회전자유, 이동구속으로 정함

본 논문은 2011년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업(과제번호: 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행 된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

† 교신저자 (충신회원) song@hhu.ac.kr

접합부 경계조건

- 1) 모듈러 유닛의 작은 보와 큰 보 - 구조를 부재가 아니며, 작은 보와 큰 보간의 결합 정도는 같지는 정도이기 때문에 한지성으로 취급
- 2) 모듈러 유닛의 기둥과 큰 보 - Eurocode 3: Design steel structures Part 1.8: Design of Joints의 강성에 의한 결합부 종류 방법에 의해 분류



- 위 그림과 같이 각 시합제의 초기 강성은 핀결합과 강접합 사이에 있는 70% 정도의 강성 성질을 가진 (출처 - 경량형강을 사용한 모듈러 시스템 개발에 관한 연구, 정성필 외 2명)

정적하중 산정

고정하중

부재의 자중을 포함하여 구조물에 영구히 설치되는 모든 구성요소의 무게를 포함한 자중 적용 $\rightarrow 1755\text{N/m}^2$

활하중

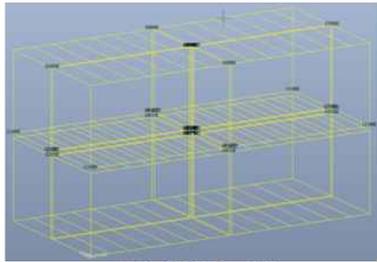
건물의 일주자나 사용자와 함께 가구, 사무용가구, 저장물 등 건물의 점유에 의하여 생기는 하중을 적용 $\rightarrow 2650\text{N/m}^2$

풍하중

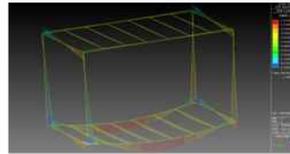
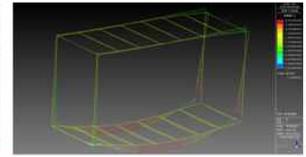
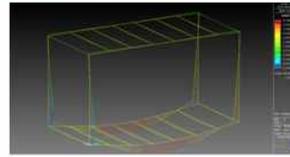
건축구조설계 기준을 적용하여 최악의 조건인 노풍도 D와 기본풍속 $V_0=40\text{m/s}$ 를 적용 $\rightarrow X: 1835\text{N/m}^2$
 $Y: 2186\text{N/m}^2$

접합부 경계조건

- 3) 모듈러 간의 구조조건 - 일의절점(종속절점 Slave Node)의 자유도를 주절점(Master Node)에 종속시킴
회전을 제외한 모듈 간의 변위를 일치시킴



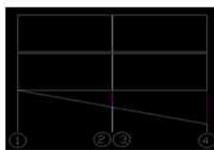
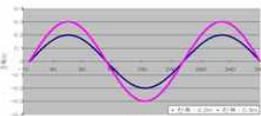
단일 유닛 구조 해석



-유닛 박스의 해석 결과 보의 경우에는 바닥면의 장변방향 중앙부에서 최대 모멘트가 발생

-풍하중에 의한 횡변위(X방향 1.038cm, Y방향1.834cm) 발생

파랑하중 산정



파장은 260m, 진폭은 10cm, 20cm일 경우를 가정하여 적용

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

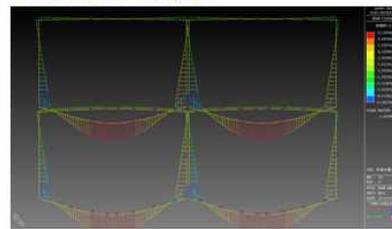
$$\bar{y} : \text{진폭}, \omega = \frac{2\pi}{T}, T : \text{주기}, t : \text{시간} (s)$$

	파장 10cm		파장 20cm	
	진폭 10cm	진폭 20cm	진폭 10cm	진폭 20cm
1	0	0	0	0
2	-1.373116	-1.74623	-0.852022	-1.304043
3	-1.397049	-1.79409	-0.876134	-1.332269
4	-1.743468	-1.48693	-1.323125	-2.650451

경간에 따른 장제 수직 변위

모듈러시스템 구조해석

정적하중 구조해석

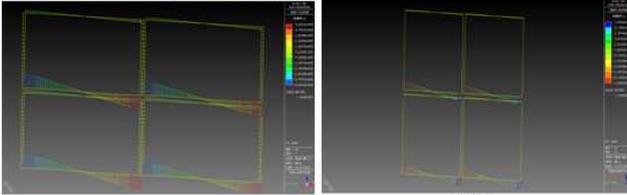


Element	M(KN.m)	Element	M(KN.m)
7	-8.11	26	8.16
Center	-2.34	Center	6.97
7	1.02	26	5.78
23	1.02	27	5.78
Center	3.4	Center	3.4
23	5.78	27	1.02
24	5.78	28	1.02
Center	8.97	Center	-2.33
24	8.16	28	-8.12
23	8.16		
Center	8.16		
28	8.16		

- 단일 유닛과 마찬가지로 유닛 바닥면의 장변방향 보에 최대 모멘트가 발생

모듈러시스템 구조해석

파랑하중을 적용한 구조해석



파향 0°

파향 90°

- 파향별로 비교해 보았을 경우, 두 가지 경우 모두 바닥콘크리트 단부에 최대 모멘트가 발생

모듈러시스템 구조해석

조합하중을 적용한 구조해석 비교

정적하중				조합하중(진폭 : 20cm, 파향 : 0°)			
Element	M(KN-m)	Element	M(KN-m)	Element	M(KN-m)	Element	M(KN-m)
7	-6.11	26	8.16	7	-13.82	26	5.76
Center	-2.54	Center	6.97	Center	-9.59	Center	5.23
23	1.02	27	5.78	23	-5.55	27	4.71
Center	3.4	Center	3.4	Center	-2.31	Center	2.99
23	5.78	27	1.02	23	0.73	27	1.28
24	5.78	28	1.02	24	0.73	28	1.28
Center	6.97	Center	-2.55	Center	2.58	Center	-1.63
24	8.16	28	-6.12	24	4.43	28	-4.54
25	8.16			25	4.43		
Center	8.16			Center	4.77		
25	8.16			25	5.1		

- 조합하중(진폭 : 20cm, 파향 : 0°)에서 7번 부재의 경우, 단부에 126% 정도 모멘트가 정적하중에 비해 증가됨. 28번 부재의 경우, 단부에 34% 정도 모멘트가 감소됨

모듈러시스템 구조해석

파랑하중을 적용한 구조해석 비교

파향	진폭	최대모멘트(KN-m)
0°	10cm	2.32
	20cm	4.61
90°	10cm	5.34
	20cm	10.68

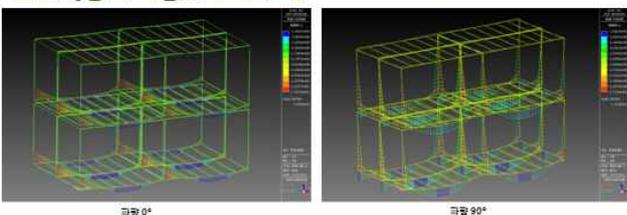
- 진폭의 크기에 의해 모멘트는 2배 이상 증가되었고, 파향별로 모멘트를 비교해 보았을 때, 0°에 비해서 90°에 더 큰 모멘트가 발생함

결론

1. 플로팅 모듈러 구조시스템은 하부부체의 하중전달이 효율적이고, 경량화 및 시공성 측면에서 유리함
2. 단일 모듈러를 연결한 모듈러 시스템을 Rigid Link를 이용하여 모델링을 하고 구조해석을 수행하였음
3. 모듈러를 연결한 모듈러시스템의 해석결과에서 보의 바닥콘크리트 중앙부나 바닥콘크리트와 기둥과 연결되는 단부에서 최대 모멘트가 발생함
4. 파랑하중의 파향에 의해 조합하중에 발생하는 모멘트 크기의 증가폭이 파향별로 다르게 나옴

모듈러시스템 구조해석

조합하중을 적용한 구조해석



파향 0°

파향 90°

- 조합하중을 파랑별로 비교해 보았을 경우, 파랑하중으로 해석을 했을 때와 같이 바닥콘크리트 단부에 최대모멘트가 발생