

플로팅 구조물의 상부구조에 대한 비선형해석

Nonlinear Analysis of Superstructures on Floating Structures

송 화 철* · 박 수 용** · 정 근 후*** · 김 세 철**** · 이 은 숙*****

Song, Hwa-Cheol · Park, Soo-Yong · Jung, Keun-Hoo · Kim, Se-Cheol · Lee, Eun-Suk

요 약

초대형 플로팅 구조물의 상부구조는 육상 구조물과는 달리 파랑하중의 영향을 받기 때문에 하부부체의 변형에 의해서 상부구조물에는 부가 모멘트가 크게 발생한다. 이와 같은 부가모멘트의 저감을 위하여 보-기둥 접합부에 반강접의 도입에 관한 연구와 반강접의 비선형 거동을 고려한 상부구조물의 연구는 초기단계이다. 본 연구에서는 초대형 플로팅 구조물의 상부구조물에 정적하중과 진폭의 크기가 다른 파랑하중이 동시에 작용할 경우 강접 골조와 부분적으로 반강접 접합부가 사용된 상부구조체에 대한 1, 2차 소성해석을 수행하였다. 접합부는 웨브에 더블 앵글을 가진 상하 앵글(TSD)접합을 적용하였으며 상부 구조물에 파랑하중이 작용할 경우 소성거동에 따른 응답특성에 대하여 분석하였다.

keywords : 반강접 접합부, 파랑하중, 소성해석, 플로팅구조물

1. 서 론

초대형 플로팅 구조물(Very Large Floating Structure :VLFS)의 상부시설물은 일반건축의 형태와 같지만 기초가 땅이 아닌 대형 부체에 지지되는 구조물이다. 초대형 플로팅 구조물의 상부구조는 육상 구조물과는 달리 파랑하중의 영향을 받기 때문에 하부부체의 변형에 의해서 상부구조물에는 부가 모멘트가 크게 발생한다. 이와 같은 부가모멘트의 저감을 위하여 보-기둥 접합부에 반강접의 도입에 관한 연구와 반강접의 비선형 거동을 고려한 상부구조물의 연구는 초기 단계이다. 이 연구에서는 기존의 2차 탄성해석에 대한 연구를 기반(송화철, 2003)으로 하여 극한하중에 대한 소성거동을 분석하기 위하여, 상부구조물에 정적하중과 진폭의 크기가 다른 파랑하중이 동시에 작용할 경우 강접 골조와 부분적으로 반강접 접합부가 사용된 상부구조체에 대한 1, 2차 소성해석을 수행하였다. 접합부는 웨브에 더블 앵글을 가진 상하 앵글(TSD)접합을 적용하였으며 상부구조물에 파랑하중이 작용할 경우 소성거동에 따른 응답특성에 대하여 분석하였다.

2. 반강접 접합부의 모멘트-회전각 모델

반강접 접합부의 초기강성 예측식은 초기강성을 매개변수로 하는 선형모델에서 시작하여 Bilinear나

* 정회원 · 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수 song@hhu.ac.kr

** 정회원 · 한국해양대학교 해양공간건축학과 부교수 sypark@hhu.ac.kr

*** 한국해양대학교 해양건축공학과 석사과정 eng040808@naver.com

**** 한국해양대학교 해양건축건축학과 학부생 reality0333@nate.com

***** (주) 마이다스IT 과장 eslee@midasit.com

Piecewise Linear 모델 그리고 Power Model은 두 가지 변수로 이루어진 가장 간단한 형태에서 발전하였다. Richard는 힘과 변위의 관계를 이용하여 멱급수 형태의 모멘트-회전각 관계의 Power Model을 제안하였고 Kishi-Chen은 세 가지 변수를 사용한 Three-Parameter Power Model을 제안하였다.

이중 가장 많이 사용되고 있는 Kishi-Chen의 Three-Parameter Power Model을 웨브에 더블 앵글을 가진 상하 앵글 적용하였으며 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

Three-Parameter Power Model은 초기접합부 강성, 접합부 모멘트 극한강도, 형상계수의 세 가지 변수를 포함하고 있다. 이를 식 1에 나타내었다(Kishi, 1996).

$$M = \frac{\theta}{(1 + \theta^n)^{1/n}} M_u \quad (1)$$

여기서 $\theta = \theta_r / \theta_0$, $\theta_0 =$ 기준소성회전각 ($=M_u / R_{ki}$), $M_u =$ 접합부의 모멘트 극한강도, $R_{ki} =$ 초기 접합부의 강성, $n =$ 형상계수이다.

3. 적용 예제 구조물 및 반강접 접합부

3.1 적용 예제 구조물

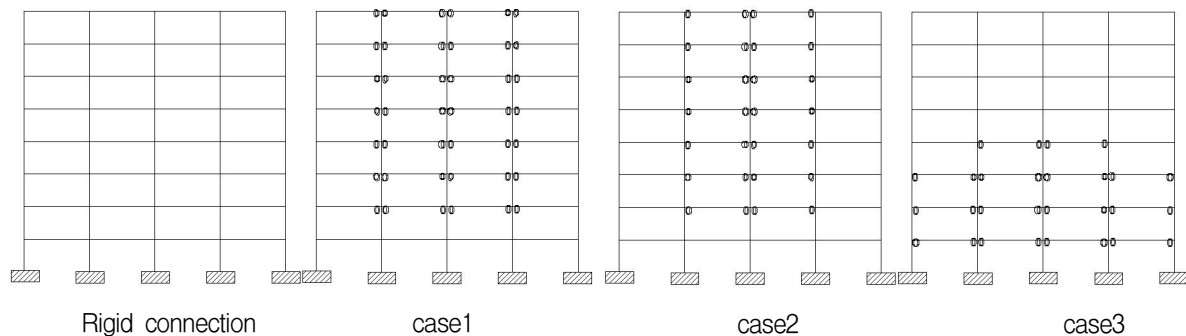


그림 1 예제 모델

모델은 Kishi와 Chen의 연구에서 적용된 예제를 모델로 사용하였다(Kishi, 1996). 기본 강접합 모델은 4경간 8층 구조물로 각 기둥 중심 간격은 300in이고 1개 층의 높이는 144in이다. 모델의 형태를 그림 1에 나타내었다. 일반적으로 고층구조물에 반강접 접합부를 적용할 경우 횡변위가 크게 증가하게 된다. 그래서 반강접 접합부의 배치에 따른 골조의 거동을 파악하고 효율적인 반강접 접합부의 위치를 찾기 위해 예제구조물을 반강접 접합부의 위치가 다른 네 가지로 해석하였다. Case1~3은 강접 접합부와 반강접 접합부를 섞어서 사용하였다. 해석 프로그램은 ABAQUS/Standard Version 6.2를 사용하였으며, 프레임 모델은 스프링 요소와 보 요소로 구성하고 SPRING2 요소와 B23 요소가 사용되었다. 접합부 강성은 비선형의 형태로 입력하여 1차 소성해석과 P-Δ효과를 고려한 2차 소성해석을 하였다.

정적하중은 고정하중과 활하중, 풍하중을 적용하였다. 수평하중인 최상층 풍하중은 3 kip이며, 1~7층 풍하중은 6 kip이다. 수직하중은 고정하중과 활하중의 합으로 최상층에 0.0833 kip/in, 1~7층에 0.2250 kip/in를 적용시켰다.

본 논문에서는 주기와 진폭을 가정한 가상과랑하중(사인함수)으로서 과랑하중을 적용하였다. 과장은 260m

로 가정하고 진폭은 5cm, 10cm, 20cm일 경우 가정하여 적용하였다. 진폭별 파랑하중에 대한 가상변형모드는 참고문헌(송화철, 2003)을 참조할 수 있다. 상하진폭이 클 경우 상하 강제변위에 의한 상부구조물의 응력 증가가 크다. 가상변형모드의 기울기가 큰 부분의 값을 적용했을 경우 각 기둥에 작용하는 상하변위값 차이가 크기 때문에 부가모멘트가 크게 작용한다.

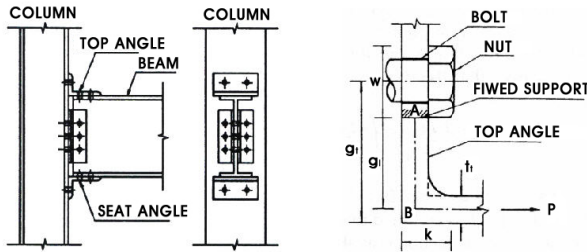


그림 2 TSD 접합부(Chan, 2000)

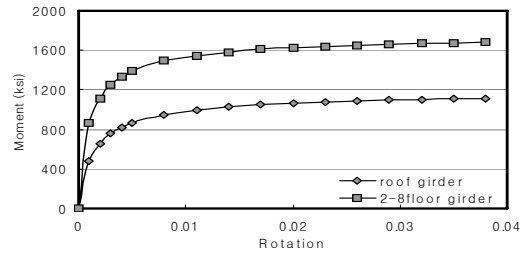


그림 3 TSD접합부의 모멘트 회전각 곡선

본 연구에서 적용한 TSD 접합부는 그림 2에 나타내었다. Three-Parameter Power Model을 이용한 TSD 접합부 각 층의 기둥과 보에 대한 모멘트-회전각 곡선은 그림 3에 나타내었다.

4. 반강접 접합부를 적용한 구조시스템별 비탄성응답분석

4.1 1차/2차 소성해석에 의한 거동 비교

정적하중과 파랑하중을 포함한 조합하중을 적용하여 하중의 증가에 따른 TSD 접합을 적용한 Case별 1차/2차 소성해석에 의한 하중계수-변위관계를 그림 4~7에 나타내었다. 강접 골조와 Case2는 어느 정도의 강성을 가지다가 소성현상이 발생하면서 비선형 거동을 하며 Case3의 경우는 초기에 비선형 거동을 보이며 큰 변형을 일으켰다. Case3과 같이 비선형 거동이 클수록 P- Δ 효과가 큰 것을 알 수 있었다.

또한 조합하중에 대한 Case별 소성거동을 비교하면 변형이 큰 구조시스템은 Case3, Case1, Case2, 강접골조의 순서이며 외곽보를 반강접 접합으로 하였을 경우 변형이 큰 것을 알 수 있었다. Case3은 다른 구조시스템에 비해서 최대하중계수가 작았다.

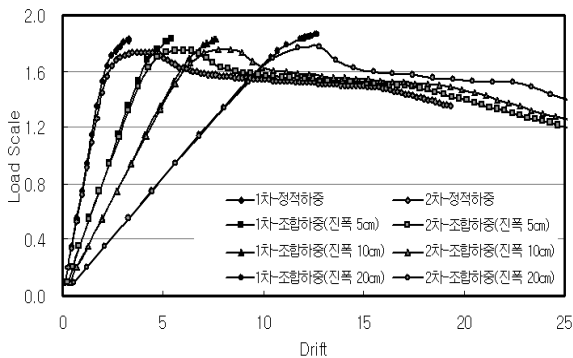


그림 4 강접 골조인 경우 하중계수-변위 그래프

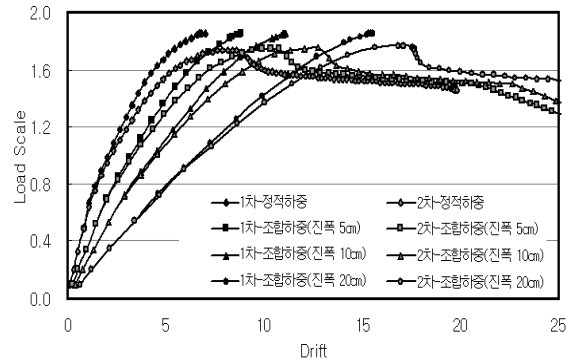


그림 5 Case1인 경우 하중계수-변위 그래프

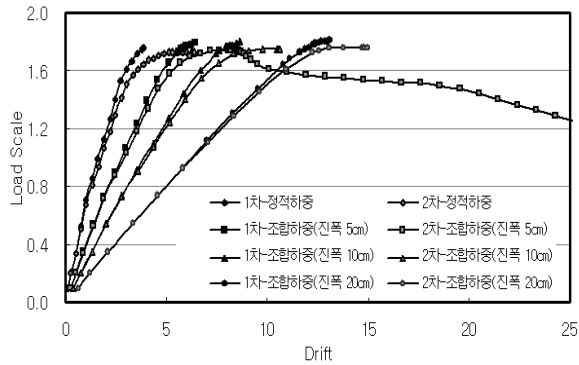


그림 6 Case2인 경우 하중계수-변위 그래프

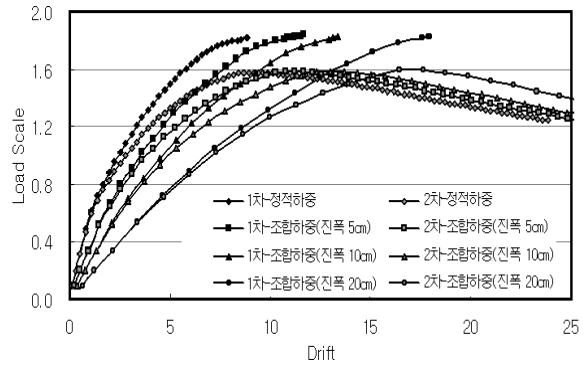


그림 7 Case3인 경우 하중계수-변위 그래프

6. 결론

본 논문에서는 초대형 플로팅구조물의 상부구조물에 정적하중과 파랑하중이 동시에 작용 할 경우 강접 골조와 부분적으로 반강접 접합부가 사용된 구조시스템에 TSD 반강접 접합부를 적용하여 비선형 해석을 수행한 결과를 분석하였다. P- Δ 효과를 고려한 1, 2차 소성해석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 파랑하중의 진폭이 작을 경우에는 구조시스템별 변위 및 모멘트 응답의 차이가 컸지만 진폭이 큰 경우에는 파랑하중에 의한 응답이 지배적이기 때문에 시스템별 차이가 줄어들었다.
2. 소성해석에 의한 TSD 접합부를 가진 구조시스템별 비탄성 거동을 분석한 결과 Case3의 경우 극한 하중계수가 작으며 소성영역에서는 구조시스템별 거동차이가 크게 나타났다.
3. 조합하중에 대한 Case별 소성거동을 비교분석한 결과 외곽보를 반강접 접합으로 하였을 경우 변형이 큰 것을 알 수 있었다. 반강접부와 강접부를 조합함으로써 소성거동에 대한 안전성을 확보함과 동시에 경제적인 플로팅 상부구조물의 설계에 적용할 수 있다.

참고문헌

- 송화철, 이은숙, (2003), 반강접 접합부를 적용한 초대형 부유식 구조물 상부구조체의 2차 탄성해석, 한국항해항만학회지 27권 1호, pp.63~70.
- Kishi, N. and Chen, W. F. and Goto, Y. and Hasan, R. (1996). "Behavior of Tall Buildings with Mixed Use of Rigid and Semi-Rigid Connections", Computer & Structures, Vol 61, No 6, pp.1193~1206.
- Chan, S. L. and Chui, P. P. T. (2000). "Non-Linear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames with Semi-Rigid Connections", Amsterdam; New York: Elsevier