이동식 긴장대의 좌굴해석 기법 연구

김종석*, 윤기용*, 김용혁**
*선문대학교 토목공학과
**(주)장헌산업
e-mail:gooddevil82@nate.com

Study on Buckling Analysis of Portable Prestressing Bed

Jong-Suk Kim*, Ki-Yong Yoon*, Yong-Hyeog Kim**
*Dept of Civil Engineering, SunMoon University
**Jangheon Industry Inc.

요 약

본 연구는 유한요소해석프로그램(ABAQUS)을 사용하여 이동식 긴장대의 좌굴해석 기법을 연구한 것이다. 50m에 달하는 프리텐션 방식의 PSC 거더를 제작하기 위해서는 약 10MN에 이르는 매우 큰 긴장력이 가해져 이동식 긴장대가 콘크리트 양생전까지 이 긴장력을 저항하여야 한다. 따라서 이동식 긴장대는 좌굴에 대한 안정성을 확보하여야 한다. 이에 본 논문에서는 앞서 개발한 이동식 긴장대의 해석모델을 이용하여 좌굴해석 기법에 대해 연구하여 이동식 긴장대가 좌굴에 대한 안정성 확보 여부를 파악하고자 하였다.

1. 서론

국토해양부의 통계자료에 의하면 2007년까지 완공된 도로교의 수는 총 24,923개소(연장 2,289km)에 달하며 2003년에서 2007년 사이에 건설된 교량의 25~30%가 PSC I형 교량으로 가설되었다.(국토해양부, 2008) 현재 사용되는 프리텐션방식의 PSC 거더는 공장에서 제작하고 운반하여 현장에서 가설하는 방식이나 도로주행 여건에 의해 운반비의 상승 및 운반가능한 부재의 크기가 제한되어 소규모 PSC 슬래브에만 프리텐션방식이 적용되고 있다. 운반의 문제를 해결하기 위해서는 현장에서 PSC 거더를 제작하여야 하는데 현장에 긴장대를 고정식으로 설치하는 것은 제작단가의 상승으로 이어져 경제성을 잃게 된다. 따라서 여러 현장에서 사용할 수 있도록 이동식 긴장대를 제작한다면 경제성을 갖춘 프리텐션방식의 PSC 거더 생산이 가능할 것이다.

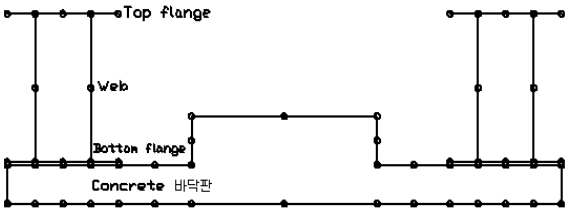
본 연구는 운반문제를 해결하고 경제성을 확보한 30~50m급 프리텐션방식의 PSC 거더를 제작하기 위하여 이동식 긴장대를 개발하고자하는 연구이다. 50m에 달하는 PSC 거더에는 약 10MN에 이르는 매우 큰 긴장력이 가해져 이동식 긴장대가 콘크리트 양생전까지 이 긴장력을 저항하여야 한다. 따라서 이동식 긴장대는 좌굴에 대한 안정성을 확보하여야 한다. 본 논문에서는 실험용으로 제작한 10m급 PSC를 생산할 수 있는 총길이 17m의 이동식 긴장대를 유한요소해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 좌굴해석 기법을 확립하고 이동식 긴장대에 발생될 자굴하중을 추정하여 안정성 확보여부를 파악하기로 한다.

2. 실험체 해석모델

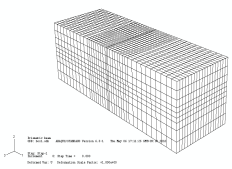
2.1. 해석모델의 제원 및 구성

유한요소프로그램인 ABAQUS를 사용하여 이동식 긴장대의 구성요소인 정착블록과 긴장대거더를 나누어 모델링하였다. 정착블록은 4절점 쉘요소를 사용하여 각각의 판들을 실험체와 동일하게 구성하였다. 긴장력 도입위치에 절점을 분배하여 하중스텝마다 동일 위치에 184.5kN씩 16절점에 총 2,952kN의 하중을 재하하였다. 하중재하시 정착블록의 후면에 긴장대거더와 닿게되는 부분의 절점에서의 반력을 구하여 긴장대거더의 모델링에 작용하중으로 분배하였다. 긴장대거더의 H형강은 4절점 쉘요소(shell element), 바닥판 콘크리트는 8절점 솔리드요소(solid element)를 적용하였고, 바닥판과 H형강이 합

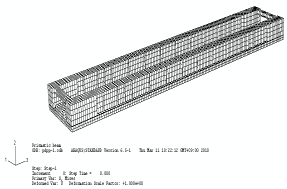
성거동을 하도록 weld option을 적용하여 결합하였다. 그림 1은 해석요소의 기본 모델링으로 H형강(H-808×302×16×30) 2개를 용접이음한 거더를 좌,우측에 배치하여 구성하고 중간거더는 1.25m 간격으로 stiffener로 보강되어있다. 일정간격으로 거더부와 바닥판 블록을 M22 볼트를 이용하여 합성하였다. 그림 2, 3은 정착블록과 긴장대거더 실험체를 나타낸 것이다. 본 연구에 앞서 합성정도를 정확히 예측할 수 있는 해석모델을 개발하였으며, 10m급 이동식 긴장대에 대하여 개발한 해석모델을 적용한 해석과 하중재하실험을 통하여 해석모델의 타당성을 검증하였다.(김종석 외, 2010)



[그림 1] 해석 요소 기본 모델링



[그림 2] 정착블록 모델링



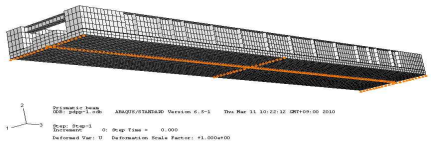
[그림 3] 긴장대거더 모델링

[표 1] 사용재료 물성치

사용재료	단위중량 (N/mm^3)	항복강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아슨비
강재 (SS400)	0.0000785	240	210	0.3

2.2. 경계조건

이동식 긴장대 실험체는 바닥에 얹어놓은 형태이나 유한요소해석 프로그램을 이용하기 위하여 그림 4와같이 해석모델의 양단은 상하변위를 횡방향으로 중앙지점에서는 종방향 변위를 종방향으로 중앙지점에서는 횡방향 변위를 구속하여 단순보와 같은 형태를 구현하였다.



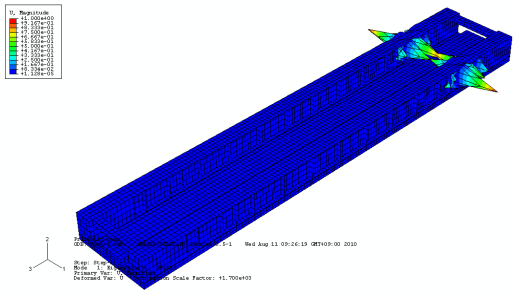
[그림 4] 긴장대거더 경계조건

3. 좌굴해석 결과

이동식 긴장대의 좌굴에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 구조계 전체좌굴과 구성요소의 국부좌굴에 대한 거동을 파악하여야 하며 따라서 전체좌굴하중과 국부좌굴하중을 파악하여야 한다.

3.1. 기본 모델 좌굴해석 결과

10m급 이동식 긴장대의 탄성좌굴해석결과 그림 5와같이 가력하중 2,952kN의 39.52배의 하중이 가력되어질 때 H형강의 복부판에서 국부좌굴이 발생되는 것을 확인할 수 있다. 해석결과 총 40개의 형상을 구하였는데 EingenValue 39~46 사이에 집중적으로 복부판의 국부좌굴 형상을 확인하였다. 동일한 폭-두께비를 갖는 본 구조시스템의 특성상 다수의 국부좌굴이 발생하며 해석의 수렴정도가 떨어져 전체좌굴 발생시점을 확인할 수 없었다.



[그림 5] 국부좌굴 형상

이동식 긴장대의 전체좌굴을 파악하기 위해서는 국부좌굴이 발생하지 않도록 폭-두께비를 조절하여 새로운 모델을 개발하여야 한다. 본 연구에서는 stiffener를 보강한 폭-두께비의 조절이 전체좌굴하중에 영향을 미치 않는 다는 것을 입증하기 위해 거더부 좌굴해석을 수행하였다.

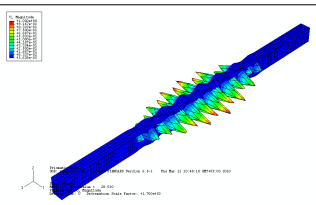
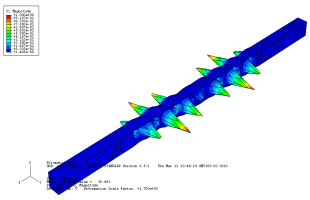
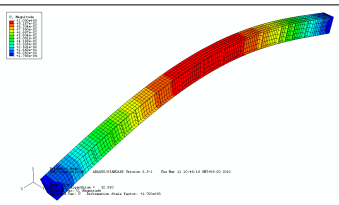
3.2. 거더부 좌굴해석 결과

3.2.1 stiffener보강 전 단면

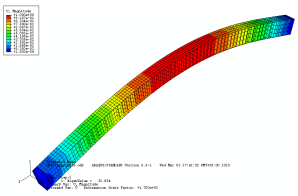
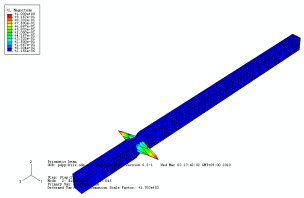
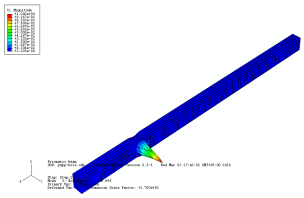
거더부와 바닥판블록이 합성된 단면의 이동식 긴

장대 모델은 단면의 크기가 커서 수렴정도가 떨어지므로 거더부의 한 단면을 이용하여 stiffener 추가여부가 좌굴하중에 어떤 영향을 미치는지 확인하기로 하였다. 표 2는 거더부의 한 단면을 사용하여 좌굴해석을 실시한 결과이며 긴장력을 대칭적으로 도입하였기 때문에 가력한 하중의 절반이 1,476kN을 적용하였다. 초기에는 복부판에서 다수의 국부좌굴형상이 발생하며 해석결과 23번째 형상인 가력한 하중의 32.6배인 48MN의 하중이 작용시 전체좌굴이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

[표 2] stiffener보강 전 단면 좌굴형상

mode	고유치	좌굴하중 (kN)	좌굴형태
1	28.530	42,110	 Scale Factor: 1.700e+03
10	30.463	44,963	 Scale Factor: 1.700e+03
23	32.550	48,043	 Scale Factor: 1.700e+03

[표 3] stiffener보강 후 단면 좌굴형상 1

mode	고유치	좌굴하중 (kN)	좌굴형태
1	32.854	48,492	 Scale Factor: 1.700e+03
2	37.045	54,678	 Scale Factor: 1.700e+03
3	38.995	57.556	 Scale Factor: 1.700e+03

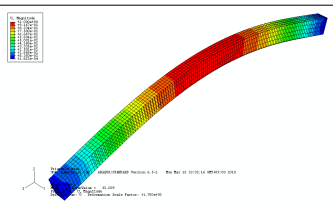
3.2.2 stiffener보강 case 1

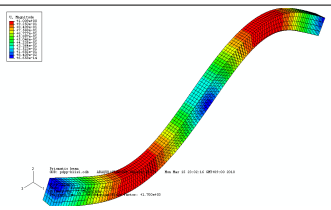
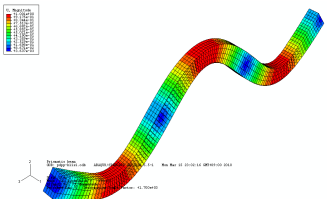
표 3은 실제 실험체의 중간거더에 stiffener를 추가적으로 보강하여 250mm 간격으로 stiffener를 배치하여 좌굴해석을 실시한 결과이다. stiffener를 보강하기전과 같은 1,476kN의 하중을 도입하였으며 가력한 하중의 32.9배 대략 48.5MN의 하중작용시 전체좌굴이 먼저 발생하며 후에 국부좌굴의 형상을 확인할 수 있다.

3.2.3 stiffener보강 case 2

표 4는 stiffener의 간격을 전단면에 125mm로 배치하여 좌굴해석을 실시한 결과이다. 국부좌굴의 현상은 판요소의 폭-두께비가 세장할수록 발생하기 쉽다.(강구조공학, 2008) 기존 단면에 다수의 stiffener를 추가적으로 보강하여 좌굴해석을 실시한 결과 국부좌굴의 형상을 제거하고 전체좌굴의 형상을 확인할 수 있었다. 가력한 하중의 33.2배 대략 49MN의 하중작용시 전체좌굴이 발생하며 stiffener를 보강하여 국부좌굴의 형상은 모두 제거할 수 있었다.

[표 4] stiffener보강 후 단면 좌굴형상 2

mode	고유치	좌굴하중 (kN)	좌굴형태
1	33.209	49,016	 Scale Factor: 1.700e+03

2	128.18	189,194	 Scale Factor: 1.700e+03
3	270.28	398,933	 Scale Factor: 1.700e+03

3.2.4 결과 비교

거더부의 한 단면을 이용해서 실험체에 보강된 stiffener의 간격을 250mm, 125mm 수정하여 추가적으로 stiffener를 배치하여 각 case별 전체좌굴 1차 모드를 확인해본 결과 stiffener를 추가적으로 보강하여도 EingenValue 및 좌굴하중의 값에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인 하였다.

[표 5] stiffener보강 전,후 결과 비교

구 분	가력하중 (kN)	고유치	좌굴하중 (kN)
stiffener 보강 전 단면	1,476	32.550	48,043
stiffener 보강 case 1	1,476	32.854	48,492
stiffener 보강 case 2	1,476	33.209	49,016

3.3. stiffener 보강 후 모델 좌굴해석 결과

stiffener보강 전의 기본 모델에서는 폭-두께비가 세장하여 국부좌굴이 발생하며 수렴도가 떨어져 전체좌굴 발생시점을 확인할 수 없었다. 앞서 거더의 한 단면에서 폭-두께비를 조절하여 확인하였듯이 전체좌굴이 일어나는 좌굴하중 값에 추가적으로 보강되는 stiffener가 큰 영향을 주지 않으므로 합성된 단면에 stiffener를 보강하여 전체좌굴 발생시점을 확인하였으며 그림 6과 같이 가력한 하중 2,952kN의 65.229배 대략 192.6MN의 하중이 작용해야 실험체에 전체좌굴이 발생한다.

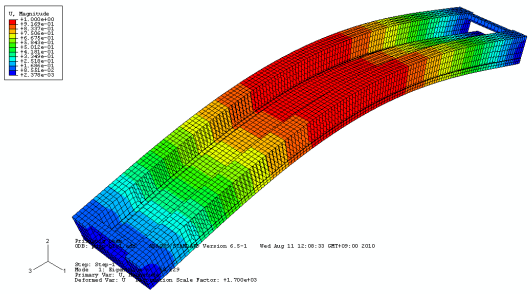


그림 6. stiffener보강 후 전체좌굴 형상

3.4. 50m급 이동식 긴장대

본 연구의 궁극적인 목표는 50m급 이동식 긴장대를 개발하는 것으로 다수의 중간거더를 연결하여 해석모델을 개발하였다. 사용한 재료의 물성치와 경계조건은 10m급 이동식 긴장대에 적용한 값과 동일하며 184.5kN의 하중이 52개 총 9,594kN의 하중을 적용하였다. 해석결과 가력한 하중의 2.22배 21.3MN의 하중이 작용시 그림 7과 같은 좌굴이 발생하게 될 것으로 추정된다. 좌굴해석 결과로부터 50m급 이동식 긴장대에 10MN에 이르는 하중을 재하하여도 좌굴에 대한 안정성은 확보하는 것으로 판단된다. 국부좌굴은 11.209배인 107MN에서 발생하여 10m급 긴장대에서와 같은 국부좌굴하중을 갖는 것으로 확인 하였다.

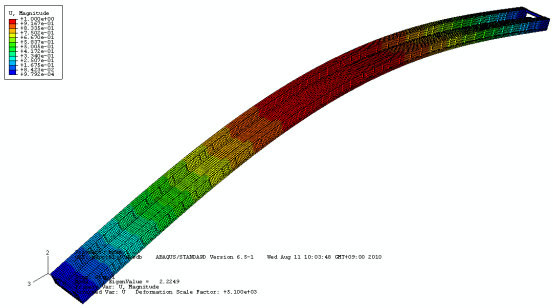


그림 7. 50m급 이동식 긴장대 전체좌굴 형상

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 파악하였다.

1. 긴장대 거더의 폭-두께비를 조절하기 위해 stiffener를 추가적으로 보강하여도 전체좌굴하중 값에 큰 영향을 미치지 않아 10m급의 짧은 이동식 긴장대에서도 전체좌굴 형상과 전체좌굴하중을 찾을 수 있다.
2. 50m급 이동식 긴장대에 10MN에 이르는 큰 하

중을 재하하여도 좌굴에 대한 안정성은 확보한다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원 산학연공동기술개발지원 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 건설교통부(2005), 도로교설계기준
[2] 국토해양부(2008), 국토해양통계연보 도로교량 및 터널현황
[3] 김종석, 윤기용, “이동식 긴장대의 구조특성에 관한 실험 연구”, 한국방재학회 춘계학술발표대회, pp. 456-459, 2010.
[4] 김종석, 윤기용, 김용혁 “이동식 긴장대의 구조특성에 관한 성능평가”, 한국산학기술학회 춘계학술발표대회, pp. 645-648, 2010.
[5] 김종석, 윤기용, 김용혁 “50m급 PSC 거더 이동식 제작장치의 안전성에 관한 해석적연구”, 대한토목학회 학술발표대회, pp. , 2010.
[6] 영지문화사(2008), 강구조공학