

프리텐션 방식의 PSC 거더 이동식 제작장치의 좌굴해석 연구

김종석¹, 윤기용^{1*}
¹선문대학교 토목공학과

A Study on Buckling Analysis of Portable Prestressing Device for Pretensioning PSC girders

Jong Suk Kim¹ and Ki Yong Yoon^{1*}
¹Dept. of Civil Engineering, Sunmoon University

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

Abstract This study is a research on the buckling analysis of a portable prestressing device using finite element analysis program, ABAQUS. In order to produce 50m-span PSC girders using pretensioning method, a portable prestressing device has to endure a large jacking force about 10MN. Therefore it shall be safe and stable about the jacking force. In this study, the buckling analysis technique is developed and the buckling analysis of a portable prestressing device is performed using previous studies about the analytical model that the validity of the analytical model was demonstrated by comparing analytical results with experimental results. The stability of the device to produce 10m span PSC girders is investigated.

Key Words : Pretension, PSC girder, Portable Prestressing Bed

1. 서론

국토해양부의 통계자료에 의하면 2007년까지 완공된 도로교의 수는 총 24,923개소(연장 2,289km)에 달하며 2003년에서 2007년 사이에 건설된 교량의 약 26%가 PSC I형 교량으로 가설되었다.(국토해양부,2008) 현재 국내에서 PSC 부재(교량 거더 등)의 제작형태는 포스트텐션방식을 주로 활용하고 있다. 그러나 포스트텐션방식은 쉬스, 그라우팅, 정착장치등이 요구됨에 따라 제작 능률이 약화되고 제작비가 증가한다.(신현목, 2003) 교량에 적용되는 PSC 거더를 포스트텐션방식 대신에 프리텐션 방식으로 제작한다면 제작단가를 대폭 감소시킬 수 있을

것이나, 교량용 PSC 거더의 길이가 일반적으로 30~50m 이므로 공장에서 제작하여 현장으로 운반하는 것은 운반 비용의 상승 및 운반 가능한 크기도 제한(국토해양부, 2010)되어 소규모 PSC 부재에만 프리텐션 방식이 적용되고 있다. 따라서 현장에서 프리텐션방식의 PSC I형 거더의 생산이 가능하다면 운반의 문제점을 극복하고 경제성을 향상시킨 PSC I형 교량의 제작이 가능할 것이다.

프리텐션방식의 PSC 부재에 관련된 연구는 긴장강선의 절단방식 또는 절단순서의 영향을 파악하는 연구,(김장호 외, 2008; 문도영 외, 2009) 강연선과 콘크리트 부재에 의한 유효 프리스트레스를 전달시키기 위한 절단길이에 관한 연구,(오병환 외, 2000; 오병환 외, 2004), 고성

*교신저자 : 윤기용(kyoon@sunmoon.ac.kr)

접수일 11년 11월 25일

수정일 11년 12월 21일

게재확정일 12년 01월 05일

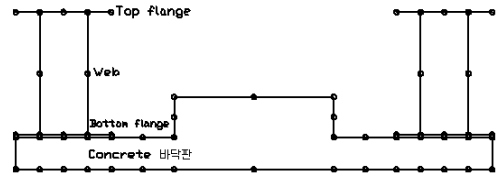
능 콘크리트를 적용하기 위한 연구,(남유석 외, 2006) 등 프리텐션방식의 PSC 부재 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 운반문제로 인하여 대부분의 연구들은 슬래브 부재나 20m이하의 단기간 거더와 같은 소규모 프리텐션방식의 PSC 부재에 적용되고 있다. 30m 이상의 중장기간 프리텐션 방식의 PSC I형 거더에 적용하기 위해서는 현장에서 거더를 생산함으로써 운반문제를 해결하기 위한 연구가 필요한 실정이다.

프리텐션방식의 PSC 부재는 일반적으로 고정식 긴장대를 사용하여 제작하나, 현장마다 고정식 긴장대를 설치하는 것은 비경제적이다. 본 연구에서는 모듈화된 자립형 이동식 긴장대를 고안하여 프리텐션방식의 PSC I형 거더를 생산하고자 한다. 이를 위해서는 긴장력이 도입된 강연선을 정착하기 위한 긴장대가 필요하며 현장에 경제적으로 적용하기 위해서는 긴장대를 이동, 조립하여 설치한 후 PSC 거더를 생산하고 해체한 후 다른 현장으로 이동할 수 있어야 한다. 선행된 연구에서 10m정도의 PSC I형 거더를 생산할 수 있는 17m 크기의 긴장대를 제작, 실험을 통해 운반 및 조립성능을 검증하였고,(윤기용 외, 2011) 유한요소 해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 해석모델을 개발하였다.(윤기용 외, 2011) 본 논문에서는 개발한 해석모델을 이용하여 좌굴해석 기법을 확립하고 이동식 긴장대에 발생될 좌굴하중을 추정하여 안정성 확보여부를 파악하기로 한다.

2. 해석모델

2.1 해석모델의 제원 및 구성

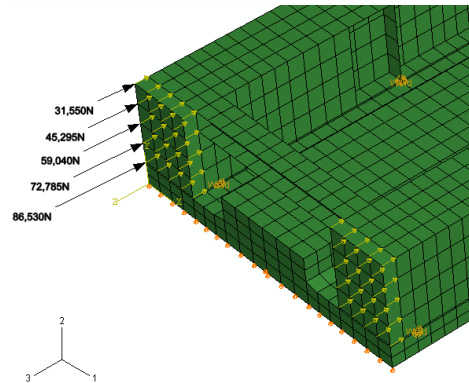
해석모델의 단면도는 그림 1과 같으며 H형강(H-808×302×16×30, 단면적: 30,760mm²) 2개를 용접이음한 거더를 좌,우측에 배치하고 RC바닥판과 일정간격으로 볼트를 이용하여 체결하였다. 더블 H형 거더는 1.25m 간격으로 수직보강재로 보강되어 있으며 재료의 물성치는 표 1과 같다. 더블 H형강은 4절점 shell요소(S4R), RC바닥판은 8절점 solid요소(C3D8R)를 적용하였고, RC바닥판과 더블 H형거더의 체결은 weld option을 적용하여 결합하였다. 가해지는 하중의 크기와 위치는 그림 2와 같이 하중의 작용점이 지면과 가까울수록 크며 총 2,952kN의 하중이 도입되었다.



[그림 1] 긴장대 구성요소
[Fig. 1] Component of the Device

[표 1] 사용재료 물성치
[Table 1] Material Properties

사용재료	탄성계수 (MPa)	포아손비	허용응력 (MPa)	설계강도 (MPa)
강재 (SS400)	210,000	0.3	140	-
RC바닥판	34,694	0.167		60



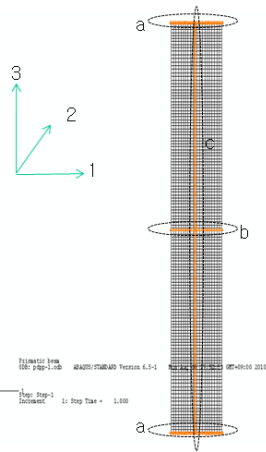
[그림 2] 가력하중 크기 및 위치
[Fig. 2] Magnitude and Position of Loading

2.2 해석모델의 경계조건

이동식 긴장대 실험체는 평지에 거치되어 거더부에 축력과 단부모멘트가 전달되나 자중의 효과를 무시하면 축력과 단부모멘트가 작용하는 경우에 단순지지조건을 갖는 보-기둥문제로 생각할 수 있다. 그러므로 해석모델의 경계조건은 단순지지조건이 되도록 그림 3과 표 2와 같이 거더부 저면 즉, RC바닥판의 저면에 경계조건을 부여하였다.

[표 2] 해석모델 경계조건
[Table 2] Boundary Conditions

절점set	구속방향	비고
a	2번 방향의 변위구속	상하방향
b	3번 방향의 변위구속	거더길이방향
c	1번 방향의 변위구속	좌우방향

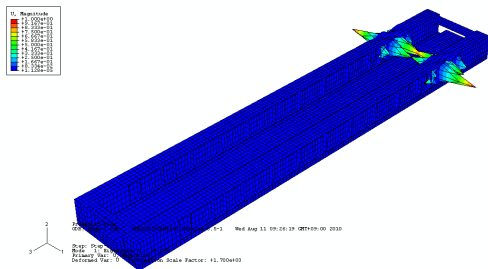


[그림 3] 해석모델 경계조건
[Fig. 3] Boundary Conditions

3. 좌굴해석 결과

3.1 기본 모델 좌굴해석 결과

이동식 긴장대의 좌굴에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 구조계 전체좌굴과 구성요소의 국부좌굴에 대한 거동을 파악하여야 한다. 10m정도의 PSC I형 거더를 생산할 수 있는 이동식 긴장대의 탄성좌굴해석 결과 그림 4와 같이 가력하중 2,952kN의 39.52배의 하중이 가력되어질 때 더블 H-형 거더의 복부판에서 국부좌굴이 발생된다. 해석결과 총 40여개의 형상을 구하였는데 고유치 39~46 사이에 집중적으로 복부판의 국부좌굴 형상을 확인하였다. 동일한 폭-두께비를 갖는 본 구조시스템의 특성상 다수의 국부좌굴이 발생하며 해석의 수렴정도가 떨어져 구조계 전체좌굴 발생시점을 확인할 수 없었다.



[그림 4] 국부좌굴 형상
[Fig. 4] Local Buckling Mode

이동식 긴장대의 전체좌굴하중을 파악하기 위해서는 국부좌굴이 발생하지 않도록 폭-두께비를 조절하여 새로

운 모델을 개발하여야 한다. 본 연구에서는 수직보강재를 보강한 폭-두께비의 조절이 전체좌굴하중에 영향을 미치지 않는 것을 입증하기 위해 거더부 좌굴해석을 추가적으로 수행하였다.

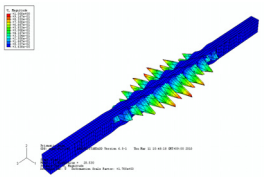
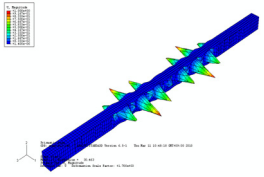
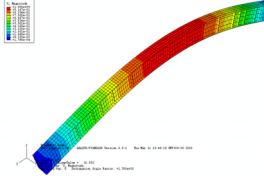
3.2 거더부 좌굴해석 결과

3.2.1 기본모델 더블 H-형 단면

더블 H-형 단면과 RC바닥판이 합성된 단면의 이동식 긴장대 모델은 단면의 크기가 커서 수렴정도가 떨어지므로 더블 H-형 거더의 한 단면을 이용하여 수직보강재의 추가여부가 좌굴하중에 어떤 영향을 미치는지 확인하기로 하였다. 표 3은 더블 H-형 거더의 한 단면을 사용하여 좌굴해석을 실시한 결과이며 긴장력을 대칭적으로 도입하였기 때문에 실제 가력한 하중은 좌,우 거더에 균등하게 전달되어 1,476kN의 하중만을 적용하였다. 해석결과 초기에는 더블 H-형 거더의 복부판에서 다수의 국부좌굴 형상이 발생하며, 23번째 형상에서 가력한 하중의 32.6배인 48MN의 하중이 작용시 전체좌굴이 발생한다.

[표 3] 기본모델 더블 H-형 거더 결과

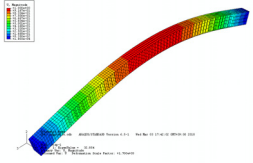
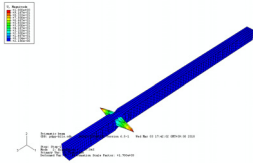
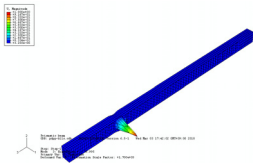
[Table 3] Results of Girders

mode	고유치	좌굴하중 (MN)	좌굴형태
1	28.5	42.1	 국부좌굴 형상
10	30.5	45.0	 국부좌굴 형상
23	32.6	48.0	 전체좌굴 형상 (1차)

3.2.2 수직보강재 보강 case 1

표 4는 기본모델의 더블 H-형 거더에 수직보강재를 추가적으로 보강하여 250mm 간격으로 수직보강재를 배치하여 좌굴해석을 실시한 결과이다. 수직보강재를 보강하 기전과 같은 1,476kN의 하중을 도입하였으며 가력한 하 중의 32.9배 대략 48.5MN의 하중작용시 전체좌굴이 발 생하며 후에 국부좌굴이 형상이 나타난다.

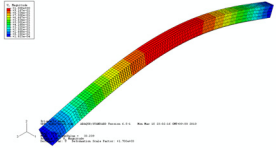
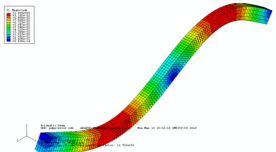
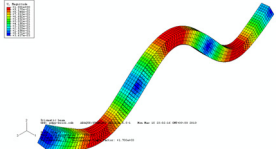
[표 4] 수직보강재 보강 case1 결과
[Table 4] Results of Case1

mode	고유치	좌굴하중 (MN)	좌굴형태
1	32.9	48.5	 전체좌굴 형상 (1차)
2	37.0	54.7	 국부좌굴 형상
23	39.0	57.6	 국부좌굴 형상

3.2.3 수직보강재 보강 case 2

표 5는 수직보강재의 간격을 전단면에 125mm로 배치 하여 좌굴해석을 실시한 결과이다. 국부좌굴의 현상은 판 요소의 폭-두께비가 세장할수록 발생하기 쉽다.(강구조공 학, 2008) 기존 단면에 다수의 수직보강재를 추가적으로 보강하여 좌굴해석을 실시한 결과 모든 국부좌굴 형상을 제거하고 구조계 전체좌굴의 형상을 확인하였다. 그 결과 가력한 하중의 33.2배 대략 49MN의 하중 작용시 전체좌 굴이 발생하게 된다.

[표 5] 수직보강재 보강 case2 결과
[Table 5] Results of Case2

mode	고유치	좌굴하중 (MN)	좌굴형태
1	33.2	49.0	 전체좌굴 형상 (1차)
2	128	189.2	 전체좌굴 형상 (2차)
23	270	398.9	 전체좌굴 형상 (3차)

3.2.4 더블 H-형 거더 결과 비교

더블 H-형 거더의 한 단면을 이용해서 수직보강재의 간격을 기본모델과 250mm, 125mm 등으로 수정하여 추 가적으로 수직보강재를 배치하여 전체좌굴하중값을 확인 해본 결과 표 6과 같이 수직보강재를 추가적으로 보강하 여도 고유치 및 좌굴하중의 크기에는 크게 영향을 미치 지 않는다. 이를 보아 합성모델에서 더블 H-형 거더에 수 직보강재를 추가적으로 배치하여 좌굴해석을 수행하면 구조계 전체좌굴의 형상과 크기를 파악할 수 있을 것으 로 보인다.

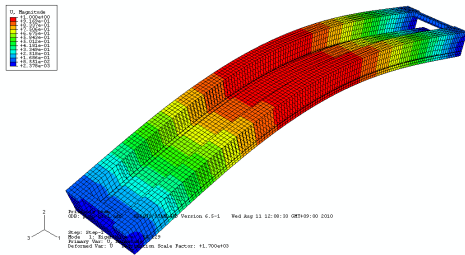
[표 6] 수직보강재 보강 전,후 결과 비교
[Table 6] Comparison with Results

구 분	가력 하중 (kN)	고유치	좌굴 하중 (MN)
기본모델 더블 H-형 거더	1,476	32.6	48.0
수직보강재 보강 case 1	1,476	32.9	48.5
수직보강재 보강 case 2	1,476	33.2	49.0

3.3 수직보강재 보강 후 좌굴해석 결과

수직보강재 보강 전의 더블 H-형 거더와 RC바닥판 합성모델에서는 폭두께비가 세장하여 다수의 국부좌굴이 발생하지만 수렴도가 떨어져 구조계 전체좌굴 발생시점과 형상은 파악할 수 없었다. 앞서 더블 H-형 거더의 한 단면에서 폭두께비를 조절하여 확인하였듯이 추가적으로 보강된 수직보강재가 좌굴하중의 크기에는 크게 영향을 주지 않으므로 합성된 단면에 수직보강재를 보강하여 좌굴해석을 수행하였다. 그 결과 구조계 전체좌굴 형상은 그림 5와 같이 나타났으며 가력한 하중 2,952kN의 65.2배 대략 192.6MN의 하중이 작용해야 구조계 전체좌굴이 발생할 것으로 추정되었다.

탄성좌굴해석을 통하여 구조계 전체좌굴과 구성요소의 국부좌굴의 거동을 파악한 결과 전체좌굴은 가력하중의 65.2배, 국부좌굴은 가력한 하중의 39.52배의 하중에서 발생하는 것으로 추정되어 10m 정도의 PSC I형 거더를 생산할 수 있는 길이 17m의 이동식 긴장대는 좌굴에 대한 안정성은 충분히 확보하는 것으로 판단된다.



[그림 5] 수직보강재 보강 후 전체좌굴 형상
[Fig. 5] Global Buckling Mode

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 파악하였다.

- (1) 10m 정도의 PSC I형 거더의 생산이 가능한 길이 17m의 이동식 긴장장치는 가력하중의 39.52배의 좌굴하중에 대하여 국부좌굴이 발생하는 것으로 파악되었다.
- (2) 이동식 긴장장치의 전체좌굴을 유도하기 위하여 더블 H-형 거더의 폭두께비를 조절하기 위한 수직보강재를 추가적으로 보강하여도 전체좌굴하중의 크기에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다.
- (3) 수직보강재로 보강한 10m 정도의 PSC I형 거더의 생산이 가능한 길이 17m의 이동식 긴장장치의 전

체좌굴하중은 가력하중의 65.2배로 파악되었다.

- (4) 개발한 이동식 긴장장치의 선형좌굴해석결과 구조계 전체좌굴과 구성요소의 국부좌굴에 대해 충분히 안정성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

일반적으로 교량에 사용되는 PSC 거더의 길이가 30~50m에 달하므로 이를 생산할 수 있는 이동식 긴장장치에는 최대 10MN의 큰 긴장력이 도입되므로 선형 및 비선형 좌굴강도에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] KRTA(2005) Bridge Design Specifications, Korea Road & Transportation Association.
- [2] MLTM(2008) Statistical Yearbook of Land, Transport and Maritime - Bridges and Tunnels, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- [3] MLTM(2010) Anweisung of Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs - Loading Restrictions of vehicles, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- [4] Kim, Jang Ho, Moon, Do Young, Zi, Goang Seup, Kim, Gyuseon(2008) Dynamic Behavior of Pretensioned Concrete Member during Detensioning, KSCE(Korean Society of Civil Engineers) Journal, Vol.28, No.5A, pp.747-756.
- [5] Nam, Yoo Seok, Cho, Chang Geun, Park, Moon Ho(2006) Time-Dependent Behavior Analysis of Pre-Tensioned Members Using High-Performance Concrete (HPC), KCI(Korea Concrete Institute) Journal, Vol.18, No.4, pp.479-487.
- [6] Moon, Do Young, Kim, Jang Ho, Kim, Gyu Seon, Yun, Man Geun, Zi, Goang Seup(2009) Investigation of Stress Changes in Concrete and Strands according to Cutting Order of the Strands in Pre-tensioned Concrete Slab, KCI(Korea Concrete Institute) Journal, Vol.21, No.4, pp.419-429.
- [7] Oh, Byung Hwan, Kim, Eui Sung(2000) Influencing Factors and Evaluation of Transfer Lengths in Pretensioned Prestressed Concrete Members, KSCE(Korean Society of Civil Engineers) Journal, Vol.20, No.6-A, pp.945-956.
- [8] Oh, Byung Hwan, Lim, Si Nae, Choi, Young Cheol(2004) Finite Element Analysis of Transfer Length in Pretensioned Prestressed Concrete Members, KCI(Korea Concrete Institute) Journal, Vol.16, No.3,

pp.293-302.

- [9] Yi, Gyu Sei, Yoon, Ki Yong, Kim, Jong Suk, Kim, Yong Huck(2011) An Experimental Fundamental Study on Development of Portable Prestressing Device for Pretensioning PSC girder, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.11, No. 6. pp.61-66.
- [10] Byeon,, Ji-Seok, Yoon, Ki Yong, Kim, Jong Suk, Kim, Yong Huck(2011) A Basic Study on the Analysis Model of Portable Prestressing Device for Pretensioning PSC girders, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.11, No. 6. pp.77-82.
- [11] Sin, Hyun Mook(2003) Prestressed Concrete, Dongmyungsa.
- [12] Jang, Sung Pil(2008) Steel Structures, Youngji Publishers.
- [13] ABAQUS, Manual & Reference Manual Ver. 6.5-1, 2007.

윤 기 용(Ki Yong Yoon)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학석사)
- 1997년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 합성구조, 강구조, 내진설계

김 종 석(Jong Suk Kim)

[준회원]



- 2008년 2월 : 선문대학교 토목공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 석사과정

<관심분야>

구조공학, 합성구조, 강구조, 내진설계