

# I-단면 플레이트거더 횡비틀림 좌굴현상의 3차원 시뮬레이션

## 3-Dimensional Simulation of Lateral-Torsional Buckling of Multi I-section Plate Girders

최병호, 박성미  
한밭대학교

Choi Byung-ho, Park seong-mi\*  
Hanbat National Univ.

### 요약

본 연구에서는 I-단면 플레이트거더의 횡비틀림 좌굴현상 및 설계 공칭강도 평가를 위해 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 유한요소기법을 적용한 비선형 수치해석 모델에 초기 불완전성을 합리적으로 고려한 시뮬레이션 방안은 실제 실험적 평가로 나타난 거동과 잘 일치하는 것을 확인하였다.

## I. 서론

극한 횡비틀림 좌굴거동을 모사하는 방안을 Choi et al.[5]의 실험결과와 비교하여 보고자 한다. 시험체들은 주거더의 횡비틀림 거동을 제어하는 가로보들이 배치된 2-거더로 구성되었고, 그런 후 균일한 휨하중상태에서 각 시험체의 극한강도가 평가되었다.

## II. 본론

### 1. 시험 개요

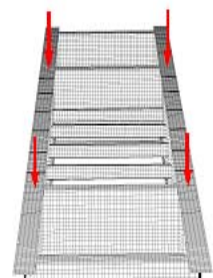
#### 1.1 시험 모델

중간 가로보를 가진 총 네 개의 강거더 모델이 실험 연구를 위해 준비되었다. ST1과 ST2는 공칭항복강도가 460MPa이고, 극한인장강도가 570MPa인 SM570-TMC 강을 이용하였다. ST3과 ST4 시험체는 플랜지는 SM570-TMC강을 적용하고 웹에 SM490강을 사용한

하이브리드 단면으로 구성되었다.

#### 1.2 시험 방법

거더모델의 지간 중간부분을 시험영역으로 한다. 이 곳은 양단 절점에 가해진 하중에 의해 균일 휨을 받기 쉽다.

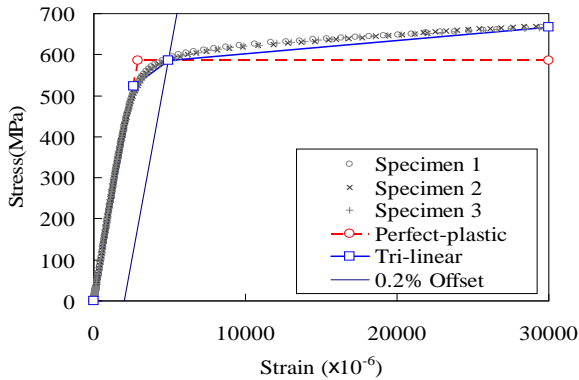


▶▶ 그림 1. 시험체 구성

## 2. 컴퓨터 해석

### 2.1 재료모델

시험체 거더에 이용된 인장시험편의 시험결과가 그림 2에 제시된 바와 같다. 비선형 응력-변형률선도를 효과적이면서도 보다 간편한 해석적용을 위해 Tri-linear 모델을 고안하였다. Tri-linear 모델은 비선형 증분해석의 수렴도를 높여 보다 효과적이며 정확한 결과를 도출하는 것으로 기대된다.



▶▶ 그림 2. 시험체 거더에 적용된 강재의 인장시험 결과 (SM570-TMC의 응력-변형률 선도,  $t=24\text{mm}$ )

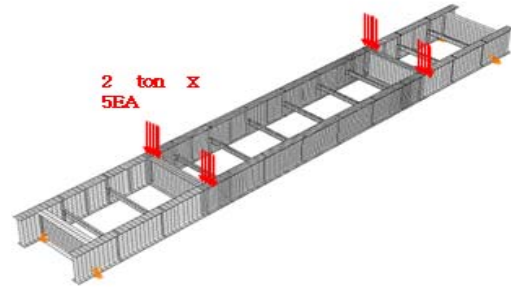
2.2 초기변형

시험 전 각 모델별 초기형상결함은 레이저 변위계 센서를 사용하여 측정되었다. 초기 형상 결함은 각 시험 거더의 균일 순수휨 영역(specimen region)의 일부 구간(1 또는 2개의 가로보 설치 간격)에 대해 측정되었다. 표 1에서 제시된 바와 같이, 최대 횡방향 결함은 상부 플랜지에서  $L_b/1000$ 의 0.5에서 2.5정도 비율의 범위로 측정되며, 주위는 평균적으로  $L_b/1000$ 를 갖는다. 이러한 형상은 거더의 극한휨강도 및 후좌굴거동에 결정적 영향을 미치는 국부좌굴모드와 매우 유사하다.

표 1. 시험체 거더 플랜지의 최대 횡방향불완전(mm)

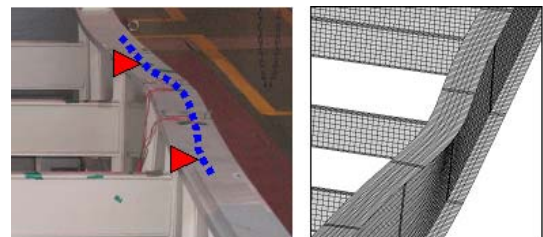
시험체	ST1	ST2	ST3	ST4
측정치	-1.11	-1.65	1.97	0.53
비율	138.8%	137.2%	245.8%	43.9%

2.3 유한요소해석



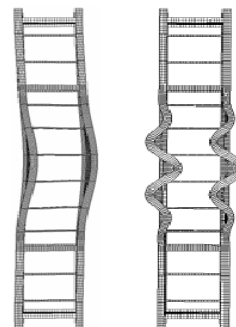
▶▶ 그림 3. 경계조건과 하중 재하

그림 3은 시험체 거더의 전형적인 유한요소망이며, 대칭 수직력으로 인해 균일휨상태이다. 그림 4는 그 중간가로보가 설치된 일부 구간에 대해 그 미소변형을 시각화하기 위해 제시하였다.



▶▶ 그림 4. 중간가로보가 설치된 시험체 거더의 거동

파괴거동비선형 증분해석을 수행하기 위해, 초기 형상결함은 횡비틀림좌굴 모드를 사용하여 시험체 거더 모델에 설정된다. 그림 5는 고유치 좌굴분석으로부터 얻어진 것이며 이는 허용오차한계인  $L/1000$ 을 고려하여 모사된 것이다.



(a) 전체좌굴 (b) 국부좌굴1

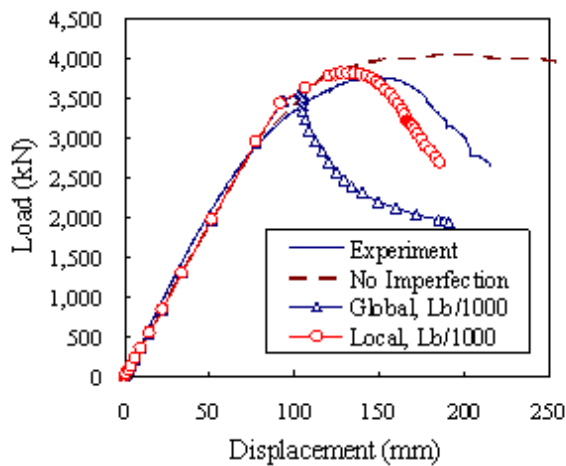
▶▶ 그림 5. 시험체 거더의 전형적인 탄성좌굴모드

### 3. 결과 분석

표 2. 극한휨강도시험과 FE해석 결과

시험 모드	초기형상결함별 분석결과						시험 결과 $P_u$ (kN)
	결함없음		전체모드		국부모드		
	$P_u$ (kN)	Diff. (%)	$P_u$ (kN)	Diff. (%)	$P_u$ (kN)	Diff. (%)	
ST1	4041.7	107.3	3578.7	95.0	3818.1	101.4	3766.1
ST2	3398.2	106.7	2833.1	89.0	2962.6	93.1	3183.3
ST3	3688.6	100.7	3402.1	92.9	3625.8	99.0	3663.1
ST4	3072.5	105.5	2687.9	92.3	2762.5	94.9	2912.6

표 2에서, 극한하중은 “결함없는” 모델에서 시험체 거더의 활하중 강도가 과대측정되는 반면에 “전체좌굴모드”의 모델에선 과소측정 됨을 비교할 수 있다. 표 2의 시험 결과 비교로부터 “국부좌굴모드”의 모델이 좀 더 정확한 극한하중을 제공함을 확인 할 수 있다.



▶▶ 그림 6. ST1시험체의 하중-휨 선도와 분석결과

비교연구로부터, 국부좌굴모드 분석 모델은 구조적 연성과 시험체의 최대휨강도를 잘 평가할 수 있다고 입증되었다. 그 결과, 시험체 거더의 극한휨거동이 국부좌굴모드에 지배된다.

### III. 결론

3차원 시뮬레이션 대상 모델은 주거더와 가로보 시스템의 상호작용을 살펴볼 수 있도록 2개의 주거더와 다수의 중간가로보로 구성되었다. 순수휨하중 상태에서 각 모델의 극한파괴 및 후좌굴 거동이 모사되었다. Tri-linear 재료모델과 가로보 간격 사이의 국부 초기형상결함을 고려한 유한요소모델에 비선형증분해석을 수행하였으며, 실제 시험체 거더의 극한 휨거동 결과와 비교 분석하였다.

각 거더시험체의 최대휨강도 및 후좌굴거동은 비지지 길이 구간에서 국부좌굴모드를 고려한 비선형해석결과와 비교적 잘 일치하였다. 따라서, 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 방법이 매우 유용함을 추정할 수 있다.

### ■ 참고 문헌 ■

- [1] 대한토목학회 · 교량설계핵심기술연구단, 도로교설계기준-해설, 2008.
- [2] 박용명, 백승용, 황민오, “강합성 플레이트거더교의 가로보 배치에 관한 연구,” 한국강구조학회논문집, 제14권, 제6호, pp. 691-699, 2002
- [3] 박용명, 황순용, 박재봉, 황민오, 최병호, “I-단면 플레이트거더교의 횡비틀림 좌굴강도의 해석적 평가,” 한국강구조학회논문집, 제21권, 제3호, pp. 321-330, 2009.
- [4] ABAQUS, Analysis user's manual, version 6.5, Pawtucket(RI), Abaqus, Inc.
- [5] Choi, B.H. and Park, Y.M., Inelastic Buckling of Torsionally Braced I-Girders under Uniform Bending: II, Experimental Study, Journal of Constructional Steel Research, Accepted for publication., 2010