강재 절곡 후판부재의 휨연성 해석 방안

최병호* 최수영*
*국립한밭대학교 건설환경공학과
e-mail : md301052@hanbat.ac.kr

Analytical method of flexural ductility of press-braked steel plate members

Byung-Ho Choi* Su-Young Choi*,
*Dept of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

요 약

본 논문은 구조용 후판 강재로 절곡되었을 때, 절곡부재의 구조연성 변화에 대한 해석 방안과 이에 따른 해석적 평가 사례를 제시하고 있다. 절곡 방법에 의한 제작과정에서 재료는 변형경화 현상이 발생한다. 이로 인해 구조연성 저하가 불가피하기 때문에 절곡부재의 휨연성 검토가 필요하다. 해석 방안은 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하였다. Lanczos 알고리즘을 적용한 고유치해석과 재료 비탄성-기하비선형을 고려한 비선형 해석을 하였다. 비선형해석 절곡에 의한 재료특성을 고려하였다. 극한 하중과 파괴모드를 평가하기 위해 Newton-Raphson method, modified Riks method를 적용한 단계별 하중재하 해석을 실시하였다. 본 연구를 통해 휨연성을 평가하는데 활용 될 것으로 판단된다.

1. 서 론

본 논문에서는 구조용 후판 강재로 절곡된 부재의 휨연성을 평가하기 위한 해석 방안을 연구 검토하고 해당 프로세스에 따라 절곡 부재의 휨연성을 해석적으로 평가한 사례를 제시하고자 한다. 절곡은 강판을 굽히는 제작방식으로, 절곡 제작과정에서 재료의 변형경화로 인해 연성이 저하되고 이로 인해 구조부재에 적용될 경우 휨연성을 떨어뜨릴 우려가 있다. 따라서 절곡부재의 휨연성 검토는 불가피하며, 유한요소해석을 이용한 간편한 평가방안을 검토하였다.

2. 해석 모델

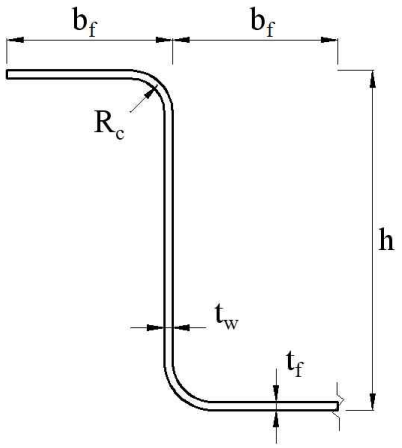
2.1. 단면제원

본 해석적 연구를 위한 해석 모델의 단면은 그림 1과 같이 두 개의 절곡 단면을 갖고 있다. 단면 제원은 표 1에서 제시된 바와 같이 두께 24mm를 갖는 후판으로 하였다.

[표 1] 절곡거더 해석모델 제원

R_c/t_f	R_c (mm)	b_f (mm)	b_e (mm)	h (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)
5	120	200	158	518	24	24

여기서, R_c는 절곡 반경, b_f는 플랜지 끝에서 웨브 중심까지의 거리, b_e는 유효폭, h는 높이, t_f 및 t_w는 각각 플랜지 및 웨브의 두께를 말한다.

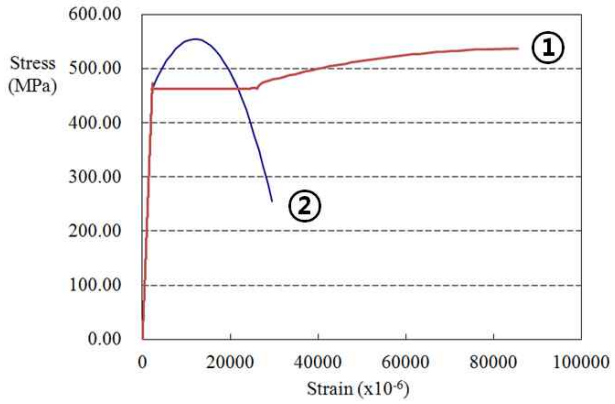


[그림 1] 절곡 거더 단면도

2.2. 재료 물성치

탄성좌굴 해석 시 적용된 재료의 물성치는 탄성계수 205,000MPa, 포아송 비 0.3을 사용하였다. 비선형 해석 시 재료경화에 의한 특성을 적용하기 위해 절곡부와 직선부에 대한 각각의 응력-변형률 곡선모형으로부터 Curve fitting을 통해 항복강도 및 소성변

형률을 획득하였다. 그림 2는 본 해석연구에 반영한 절곡부재의 부위별 응력-변형률 곡선을 나타낸다. 여기서, ①은 절곡의 영향이 없는 위치에 대한 것이고 ②는 절곡된 위치에 대한 응력-변형률 곡선 모형이다.

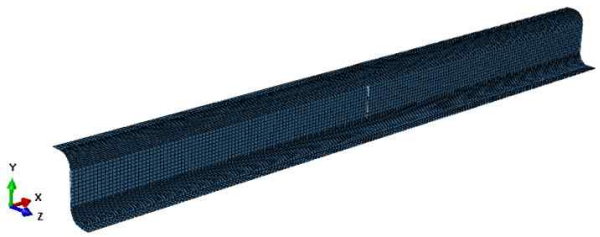


[그림 2] 응력-변형률 곡선(인장시험 결과)

3. 유한요소 해석 및 휨연성

3.1. 탄성좌굴 해석

유한요소 해석을 수행하기 위해 ABAQUS에서 제공하는 S4R5요소를 이용하였고, 고유치가 충분히 수렴되도록 그림 3과 같이 총 10,080개의 요소로 구성하였다. 해석모델의 종방향 길이는 6m로 하였고, 하중재하방식은 거더의 중간지점에 집중하중을 재하하였다. 경계조건은 단순지지조건으로 구현하였다. 탄성좌굴 해석은 비선형 해석을 수행하기 위한 선행단계로서, Lanczos 알고리즘을 사용하였다.

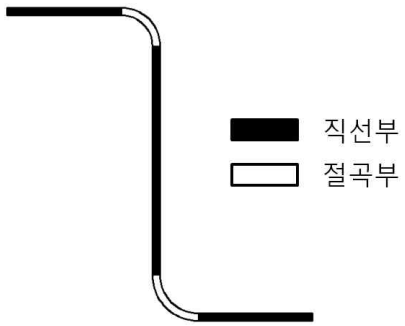


[그림 3] 절곡 거더 모델

3.2. 비선형 해석

비선형해석은 재료비탄성-기하비선형을 고려하였다. 절곡 거더를 그림 4와 같이 직선부와 절곡부로 구역을 나누어 직선부에는 그림 2의 ①, 절곡부에는 그림 2의 ②를 적용하여 재료비탄성과 절곡에 의한 재료특성을 고려하였다.

초기 기하학적 불완전은 탄성좌굴해석의 제1탄성좌굴모드와 초기변형을 적용함으로서 기하비선형을 고려하였다. 비선형해석 결과로 극한 하중과 파괴모드를 평가하기 위해 Newton-Raphson method, modified Riks method를 적용한 단계별 하중재하 해석을 실시하였다.



[그림 4] 절곡 거더 모델

3.3. 휨연성 R_d

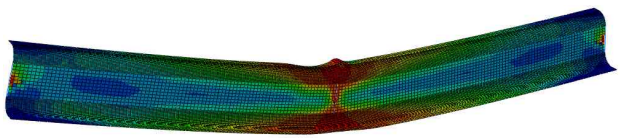
통상적인 휨부재의 연성 R_d를 평가하기 위한 방법은 아래 식 1과 같다. 즉 휨연성도 R_d가 3이상으로 평가되는 경우 충분한 휨연성 능력을 갖는다고 판단된다.

$$R_d = \left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right) - 1 \ \geq \ 3 \qquad (1)$$

여기서, θ_1은 모멘트(M)가 처음 소성모멘트(M_p)에 도달하였을 때의 회전각을, θ_2는 극한모멘트(M_u) 이후 모멘트가 감소하여 소성모멘트에 다시 도달할 때의 회전각을 의미한다.

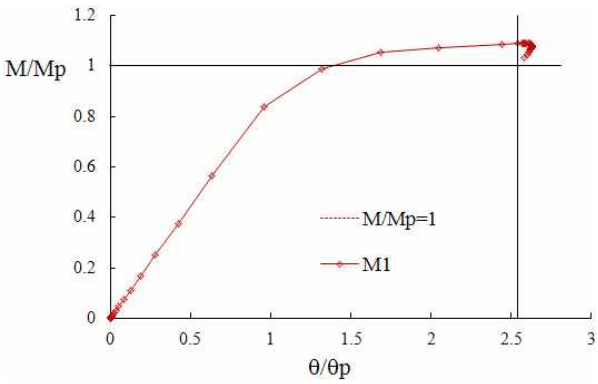
4. 해석결과

그림 5는 비선형 해석을 통한 극한거동 모드로 가장 취약한 부분이 거더 중앙에 나타나고 있다.



[그림 5] 극한거동 해석결과 (해석모델1)

그림 6은 본 연구에서 수행한 유한요소해석 결과로 작성된 M-Θ 다이아그램이다. 극한모멘트는 1685.72kN · m, 휨연성 R_d는 1.54로 나타났다. 따라서 해석적 평가결과에 의거하여, 절곡상세에 대해 특정된 재료특성을 고려한 경우, 충분한 휨연성 능력을 갖지 못하는 것으로 평가될 수 있다.



[그림 6] M-θ 다이아그램 (해석모델1)

5. 소결

본 논문에서는 유한요소해석을 통해 절곡 거더 휨연성의 해석적 평가 방안에 대한 연구를 수행하였다. 본 해석결과로부터 절곡에 의한 굴곡부 인성 저하로 인해 해석대상 절곡 부재는 충분한 휨연성을 갖지 못하는 것으로 평가되었다. 향후, 본 논문의 해석적 검토 결과는 실험적 연구 검증 결과와 비교해 볼 필요가 있다. 실험을 통해 검증된 해석적 평가방식을 활용한다면, 보다 향상된 고성능 강재특성을 적용한 경우의 휨연성 평가를 수행할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 변수해석적 연구 검토를 통해, 절곡상세에 따른 강재의 최소 소요연성에 대해 검토할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의글

이 연구는 국토해양부의 건설기술혁신사업 (11CCTI-B058803-02-000000) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2010
[2] “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications American Association of State Highway and Transportation Officials", Inc., Washington, D.C., 2007
[3] ABAQUS, Keywords Reference Manual, Version 6.11, 2011.
[4] ABAQUS, Analysis User's Manual, Version 6.11, 2011.
[5] Quach, W.M. Teng, J.G. Chung, K.F., "Residual stresses in press-braked stainless steel sections-II : Press-braking operations", Journal of Constructional Steel Research, Vol.65, pp.1816-1826, 2009.