

셀룰러빔의 웨브-포스트 좌굴강도

Web-Post Buckling Strength For Cellular Beam

최 취 경* 박 선 우** 김 태 영*** 서 보 현****
Choi, Chui-Kyung Park, Sun-Woo Kim, Tae-Young Seo, Bo-Hyun

요 약

장스팬 철골부재설계시, 응력보다는 처짐에 의해 부재단면이 결정되며 이러한 경우 춤을 극대화 할 수 있는 셀룰러 빔이 매우 유리하다. 셀룰러 빔은 웨브의 단면결손으로 인해 웨브의 좌굴강도가 일반형강보의 비해 작아지게 된다. 본 논문에서는 셀룰러 빔의 개구부간격과 직경비, 그리고 개구부직경과 웨브두께비를 주요변수로 비선형 유한요소해석을 통해 웨브포스트의 좌굴강도를 평가하였다. 또한 이를 BS5950 Part 1에서 제시하고 있는 기준과 비교분석하였다.

Abstract

Due to the deficit of section of web, the buckling strength of cellular beam become smaller than that of H-beam. In this thesis, we evaluate the buckling strength of web-post through non-linear F.E.M with opening distance-diameter ratio and opening diameter - web thickness ratio as essential variables. And also analyzes this comparing with the standard indicated in BS5950 Part 1.

키워드 : 웨브포스트좌굴강도, 셀룰러빔, 비렌들벤딩

Keywords : Web-Post Buckling Strength, Cellular Beam, Vierendeel Bending

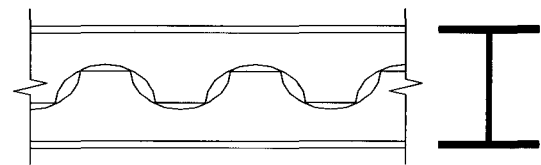
1. 서 론

셀룰러 빔은 웨브에 연속된 원형개구부를 갖는 철골보를 의미한다. 일반적으로 셀룰러 빔은 <그림 1>과 같이 형강보를 절단 한 후 서로 엇갈리게 붙여 용접하여 제작하게 된다.

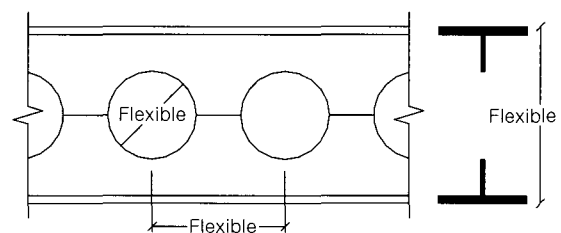
허니컴 보의 경우도 이와 유사한 형태로 제작되며, 육각형 개구부를 갖는 것이 셀룰러 빔과의 차이점이다.

셀룰러 빔의 역학적 거동은 일반형강보의 역학적 거동뿐만 아니라 개구부 주변에 대한 역학적 거동을 추가로 고려해야 한다. <그림 2>와 <그림 3>은

셀룰러빔의 일반적인 명칭과 웨브포스트의 자유물체도를 나타낸 것이다. 셀룰러 빔의 설계시 고려사항을 정리하면 다음과 같다¹⁾.



(a) 형강보의 절단



(b) 절단부 용접

<그림 1> 셀룰러 빔의 제작

* 정회원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Tel : 031-750-5721 Fax : 02-750-8633
E-mail : cck@kwc.ac.kr

** 정회원, 한국예술종합학교 건축과 교수, 공학박사

*** 정회원, K-1 구조엔지니어링, 공학박사 구조기술사

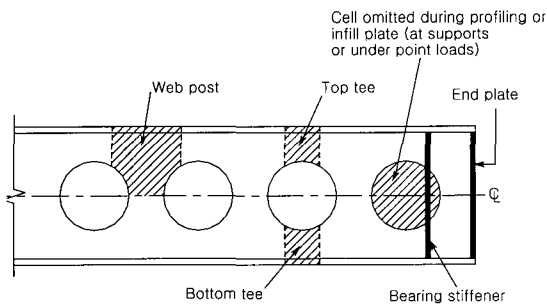
**** 정회원, K-1 구조엔지니어링, 구조기술사

- (1) 휨모멘트
 - ① 전체단면에 대한 휨모멘트
 - ② 개구부 상부 T-Shape 부분에 발생하는 *Vierendeel Bending*
- (2) 웨브포스트 강도
 - ① 휨에 의한 웨브포스트의 소성화
 - ② 웨브 포스트의 전단좌굴
- (3) 전단력
 - ① 지지부의 전단력
 - ② 개구부에서의 전단력
 - ③ 용접이음부에서 발생하는 수평전단력

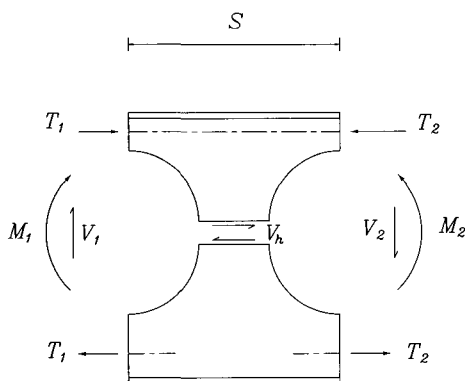
본 논문에서는 셀룰러 빔의 개구부간격과 직경비, 그리고 개구부직경과 웨브두께비를 주요변수로 하여 비선형 유한요소해석을 통해 웨브포스트의 좌굴 강도를 평가하고 이를 BS5950 Part 1에서 제시하고 있는 기준과 비교분석하고자 한다.

2. 기존의 연구

아직까지 국내에서는 셀룰러 빔과 관련된 연구는 이루어지지 않았으며, BS기준에서는 웨브포스트의



〈그림 2〉 셀룰러 빔의 주요부 명칭



〈그림 3〉 웨브포스트의 자유물체도

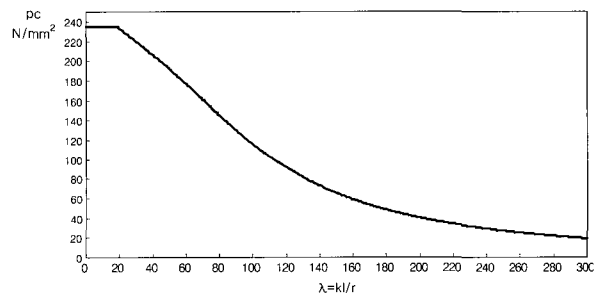
압축대의 범위를 지정하여 압축재의 설계강도로 웨브포스트의 좌굴강도를 평가하고 있다. BS기준에서 제시하는 웨브포스트의 좌굴강도는 다음과 같다^{2),3)}.

$$V_v = 2 p_c b_e t_w \tag{1}$$

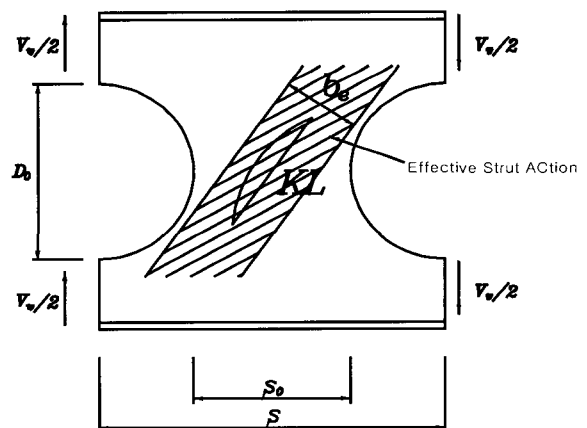
여기서, V_v = 웨브포스트의 좌굴강도
 p_c = BS5950 Part1 좌굴곡선 c에 의한 압축강도 (그림 4 참조)
 $b_e = s_0/2$ (압축대의 유효폭)
 t_w = 웨브플레이트의 두께

〈그림 4〉는 SS400강재를 대상으로 BS5950 Part1 좌굴곡선 c에 의한 압축강도곡선을 나타낸 것이다. 또한 압축대의 유효좌굴길이는 식(2)와 같이 산정한다. 〈그림 5〉는 웨브포스트의 좌굴모델을 나타낸 것이다.

$$KL = 0.5\sqrt{S_0^2 + D_0^2} \tag{2}$$



〈그림 4〉 BS5950 Part1 좌굴곡선 c (SS400)



〈그림 5〉 웨브포스트의 좌굴모델

여기서, KL = 압축대의 유효좌굴길이
 S_0 = 개구부 순간격
 D_0 = 개구부 직경

3. 유한요소해석

본 연구에서는 비선형 유한요소 프로그램인 ADINA 7.3⁴⁾을 이용하여 웨브포스트의 좌굴강도를 평가하였다. ADINA7.3은 구조물의 선형 및 비선형 응력-변위 해석, 고유치 해석이 가능한 유한요소프로그램이다.

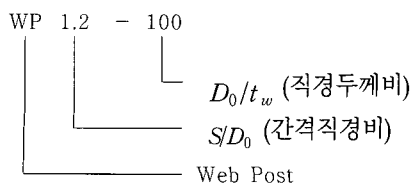
웨브포스트강도에 가장 지배적인 영향을 미치는 인자는 개구부 순간격과 웨브플레이트의 두께이다. 따라서, 본 논문에서는 이를 주요변수로 웨브포스트의 좌굴강도를 분석하고자 한다.

해석은 H-400×200×8×13 형강을 개구부 직경 400mm를 두어 셀룰러빔을 제작한 것을 기준으로

<표 1> 해석모델(mm)

모델명	h	D_0	S	t_f	t_w				
WP1.2-100	600	400	480	12	4				
WP1.2-80					5				
WP1.2-67					6				
WP1.2-57					7				
WP1.2-50					8				
WP1.2-44					9				
WP1.2-40					10				
WP1.4-100					600	400	560	12	4
WP1.4-80									5
WP1.4-67									6
WP1.4-57	7								
WP1.4-50	8								
WP1.4-44	9								
WP1.4-40	10								
WP1.6-100	600	400	640	12					4
WP1.6-80									5
WP1.6-67									6
WP1.6-57					7				
WP1.6-50					8				
WP1.6-44					9				
WP1.6-40					10				

주) 모델명



<표 2> 해석모델의 기계적 특성

	$\sigma_y(N/mm^2)$	$E(N/mm^2)$	포와송비
플랜지	235	206000	0.3
웨브	235	206000	0.3

하였다. 즉, 전체높이가 600mm인 셀룰러빔을 주요 변수에 따라 분류한 후 비선형 해석을 수행하였다.

<표 1>은 해석모델을 정리하여 나타낸 것이다. 해석에 사용된 강재는 SS400강재를 적용하였으며, 완전탄소성거동을 하는 것으로 가정하였다.

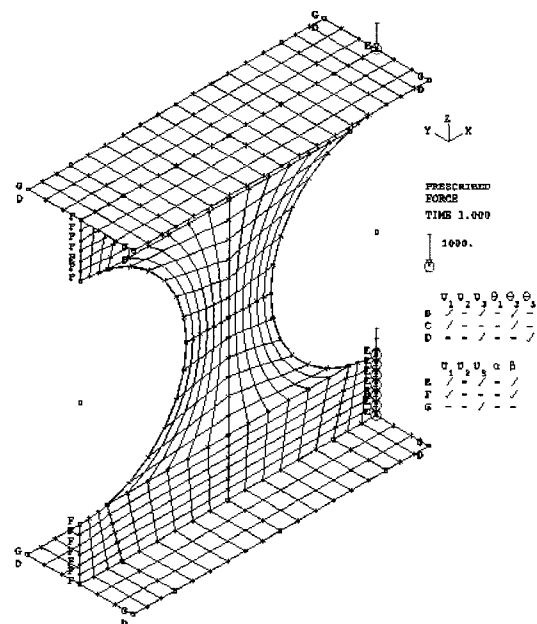
해석에 사용된 강재의 기계적 특성은 <표 2>와 같다.

비선형해석은 좌굴해<그림 6> 웨브포스트의 좌굴모델석을 먼저 수행하여 1차좌굴모드를 구한후 극한해석시 웨브높이의 1/500에 해당하는 좌굴모드를 초기변형으로 입력하여 수행하였다. <그림 6>은 해석모델(WP1.6-100)과 하중조건 및 경계조건을 나타낸 것이다. <그림 7>은 기본형 시험체의 좌굴해석결과는 나타낸 것이다.

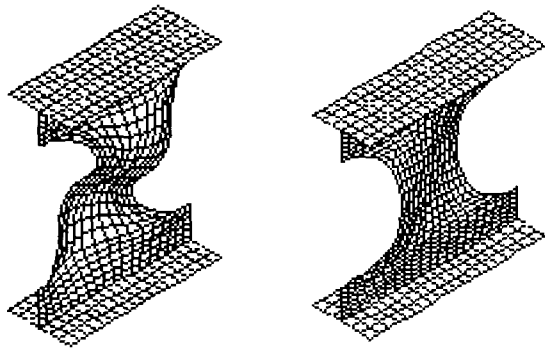
4. 해석결과 및 분석

4.1 개구부크기-웨브두께비에 따른 전단내력

<그림 8>은 해석모델의 전단력-변위 곡선을 나타

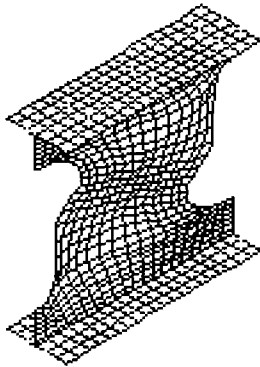


<그림 6> 웨브포스트의 좌굴모델



(a) WP1.2-100

(b) WP1.4-100



(c) WP1.6-100

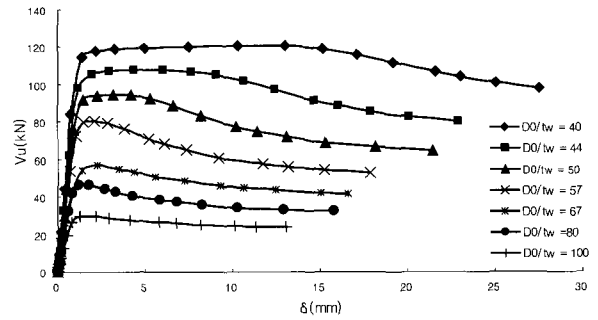
<그림 7> 기본형 해석모델의 좌굴해석결과

낸 것이다. <그림 8>을 통해 개구부직경-웹두께비(D_0/t_w)가 감소하는 경우 웹포스트의 전단내력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 개구부중심간격-개구부직경비(S/D_0)가 증가하는 경우에도 웹포스트의 전단내력이 증가하고 있음을 알 수 있다.

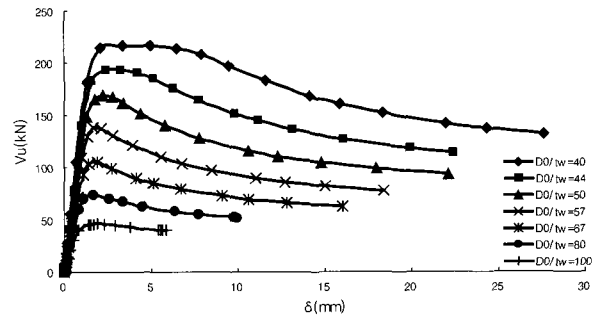
그러나 <그림 8>의 (c)에 나타난 것과 같이 웹포스트의 폭과 웹의 두께가 일정량 증가하는 경우($D_0/t_w = 44$) 웹포스트의 전단내력은 더 이상 증가하지 않는 것으로 평가되었다. 이는 웹포스트의 좌굴에 의해 내력이 결정된 것이 아니라 Vierendeel Bending 또는 전단항복등에 의해 내력이 결정되었기 때문이다.

4.2 기존설계식과 해석결과 비교 및 분석

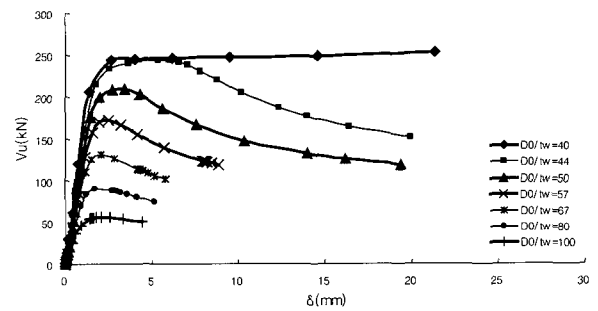
<표3>은 해석결과값과 기존설계식에 의한 내력을 정리한 것이며, <그림 9>은 해석모델의 웹포



(a) WP1.2 시리즈 전단력-변위 곡선



(b) WP1.4 시리즈 전단력-변위 곡선



(c) WP1.6 시리즈 전단력-변위 곡선

<그림 8> 해석모델의 전단력-변위곡선

스트 전단내력과 BS5950에서 제시하고 있는 웹포스트의 전단내력을 비교하여 나타난 것이다.

<그림9>를 통해 웹의 두께가 작은 경우 설계식과 해석결과는 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

그러나 개구부직경-웹두께비(D_0/t_w)가 50미만이 되는 경우 해석결과값이 설계식보다 V_u 값이 작게 평가되었다.

이는 웹포스트의 좌굴보다는 Vierendeel Bending 또는 전단항복등에 의해 내력이 결정되었기 때문이다.

개구부중심간격-개구부직경비(S/D_0)가 증가되는 경우에는 웹포스트의 좌굴보다는 Vierendeel Bending

<표 3> 기존설계식과 해석결과 비교

모델명	해석결과 (kN)	설계식 (kN)	설계식/해석결과
WP1.2-100	30.2	16	0.53
WP1.2-80	46.7	28.7	0.61
WP1.2-67	57	44.8	0.79
WP1.2-57	79.2	63.9	0.8
WP1.2-50	92.3	84.7	0.92
WP1.2-44	105.9	106.6	1.01
WP1.2-40	118.3	128.4	1.09
WP1.4-100	39.9	29.2	0.73
WP1.4-80	70.6	52.7	0.75
WP1.4-67	104.1	82.6	0.79
WP1.4-57	138.3	120.1	0.87
WP1.4-50	166.7	160.4	0.96
WP1.4-44	194.1	201.9	1.04
WP1.4-40	215.6	246.7	1.14
WP1.6-100	57.1	64038	0.67
WP1.6-80	91.5	69.6	0.76
WP1.6-67	131	111.5	0.85
WP1.6-57	172	162.3	0.94
WP1.6-50	210	219.1	1.04
WP1.6-44	241	278.6	1.16
WP1.6-40	245.6	346.5	1.41

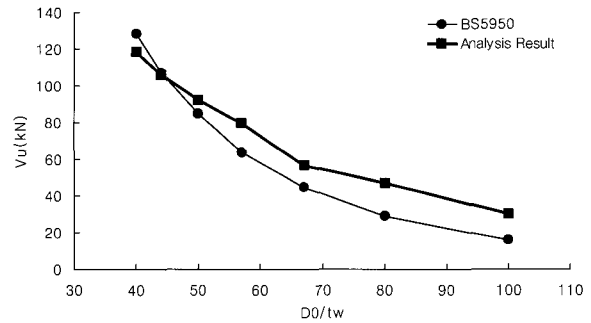
또는 전단항복등에 의해 내력이 지배될 것으로 판단된다.

또한 <표3>을 참고하면 웹의 직경두께비가 큰 경우 BS5950에 의한 웹포스트의 좌굴강도는 과소 평가되는 것으로 나타났다. 이는 웹의 두께에 비해 플랜지의 두께가 상대적으로 크기 때문에 플랜지 구속효과에 의한 것으로 판단된다.

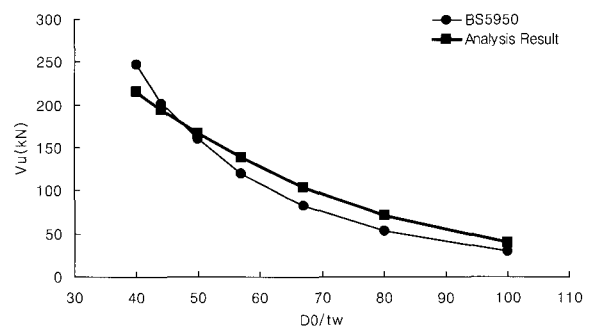
5. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 빔의 개구부간격과 직경비와 개구부직경과 웹두께비를 주요변수로 하여 비선형 유한요소해석을 통해 웹포스트의 좌굴강도를 평가하고 이를 BS5950 Part 1에서 제시하고 있는 기준과 비교분석 하였으며, 결론은 다음과 같다.

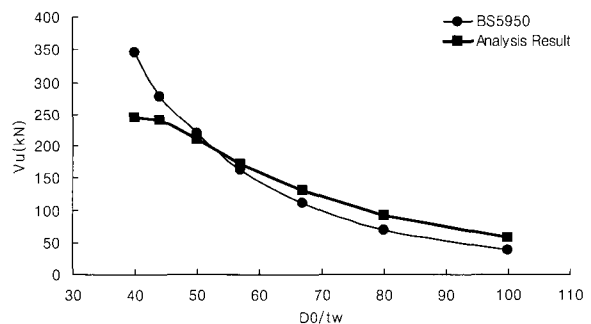
1. BS5950에서 제시하고 있는 웹포스트의 전단 내력은 비선형해석 결과값과 비교적 잘 일치하



(a) 해석결과 비교(WP1.2 시리즈)



(b) 해석결과 비교(WP1.4 시리즈)



(c) 해석결과 비교(WP1.6 시리즈)

<그림 9> 비선형 해석결과 비교

고 있는 것으로 평가되었다.

2. 개구부직경-웹두께비(D_0/t_w)가 50미만이 되는 경우 웹포스트의 좌굴보다는 Vierendeel Bending 또는 전단항복등에 의해 내력이 지배되는 것으로 판단된다.
3. 웹의 직경두께비가 큰 경우 BS5950에 의한 웹포스트의 좌굴강도는 과소평가되는 것으로 나타났다. 이는 웹의 두께에 비해 플랜지의 두께가 상대적으로 크기 때문에 플랜지 구속효과에 의한 것으로 판단된다.

아직 국내에서는 셸룰러 빔에 대한 연구가 미미한 상태이며, 이와 관련된 기준도 제정되지 않은 상태이다. 앞으로 구조적 성능뿐 아니라 의장적으로도 뛰어난 효과를 가지고 있는 셸룰러 빔에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Design of Composite and Non-Composite Cellular Beams, The Steel Construction Institute, 1990
2. British Standards institution, BS5950, Part 1, 1985
3. Design of FABSEC Cellular Beam in Composite and Non-Composite Applications, Fabsec Limited, 2006
4. ADINA User Interface Command Reference Manual. Vol.1: ADINA Model Definition, ADINA R&D Inc. 1999