

절곡 제작한 6각형 단면 기둥 국부좌굴강도의 해석적 평가

박성미*, 최병호*

*국립한밭대학교 토목공학과

e-mail : id301044@hanbat.ac.kr

Finite element analysis on local buckling strength of hexagon columns with press-braked sections

Seong-Mi Park*, Byung-Ho Choi*

*Dept of Civil Engineering, Hanbat National University

요 약

대형 다각형 단면 기둥부재의 제작은 용접이나 절곡 등의 다양한 혼합방식으로 이루어 질 수 있다. 이러한 제작방식의 차이에 따라 외력작용 이전의 초기상태에 상당한 차이가 발생한다. 그러나 절곡과 용접이 혼합된 다각형 단면 기둥의 초기 상태를 고려하는 방안에 대한 지침은 분명히 제시되고 있지 않다. 이에 본 연구에서는 다각형 단면 기둥 제작방식에 따른 초기상태가 국부좌굴강도에 미치는 영향을 6각형 단면 기둥모델을 대상으로 해석적으로 평가해 보고자 한다.

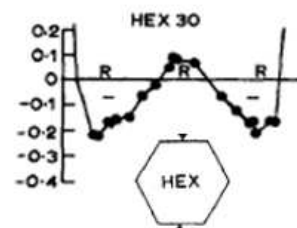
1. 서론

광폭 후판을 이용한 대형 다각형 단면 기둥부재의 제작은 용접이나 절곡 등의 다양한 혼합방식으로 이루어 질 수 있다. 이러한 제작과정의 차이에 따라 외력작용 이전의 초기상태에 상당한 차이가 발생한다(Fukumoto, 1997; Aoki 등, 1991). 이러한 차이는 기둥의 국부좌굴강도에 영향을 미칠 것으로 보여지지만, 절곡과 용접이 혼합된 다각형 단면 기둥의 초기 상태에 의한 영향을 고려하는 지침은 분명히 제시되고 있지 않다. 이에 본 연구에서는 다각형 단면 기둥 제작방식에 따른 초기상태가 국부좌굴강도에 미치는 영향을 해석적으로 평가해 보고자 한다.

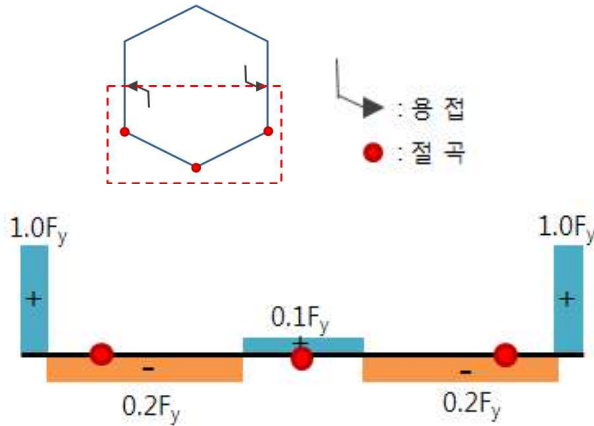
이를 위해 Aoki 등(1991)이 조사한 다각형 단면의 초기 잔류응력 패턴을 단순화하여 해석모델에 고려하는 방안을 검토해보았다. 최근 대형화에 따라 경제성이 저하되고 있는 반경 2m의 원형기둥에 대해 이에 내접하는 6각형단면 기둥구조로써 대체하는 경우를 상정해서 대상 제원을 선정하였으며, 강재는 최근에 KS규격에 등록된 고성능강재인 HSB500을 적용해보았다.

2. 잔류응력모델

Aoki 등(1991)은 강제후판을 절곡한 후 두 개의 절곡 단면을 길이방향으로 용접 접합하여 제작한 육각단면 기둥에서 발생한 잔류응력 분포를 조사하였다. 그림 1에 보이는 바와 같이 육각형 단면을 절반으로 나눠 삼각형으로 표시한 부분에서 용접하였고, 다각형의 모서리는 모두 절곡으로 제작되었다. 용접부는 인장잔류응력이 항복강도 수준으로 발생하였고 절곡부 위치에서는 이와는 상당히 낮은 인장잔류응력과 압축잔류응력이 교번으로 발생하였으며 이러한 패턴은 그림 1과 같다. 이러한 잔류응력 조사 결과를 참조하여 본 해석연구에서는 그림 2와 같이 단순화하여 보수적인 방식으로 고려하였다.



[그림 1] 6각형 단면 잔류응력 분포(Aoki)



[그림 2] 용접과 절곡이 혼합제작 된 다각형 단면의 잔류응력(6각형)

AASHTO LRFD에서 정하고 있는 조밀단면(compact section), 비조밀단면(non-compact section), 세장단면(slender section) 기준에 따라 각 영역의 대표적 해석 모델을 선정하였으며, 각 해석 모델에 그림 2의 잔류응력 패턴을 초기상태로써 고려하였다. 잔류응력의 크기 변화에 따른 영향 변화를 검토하고자 표 1과 같이 잔류응력 크기에 따른 변수해석을 실시하였다. 이 때, 인장잔류응력비는 항복강도를 기준으로 0~100%로 하였으며, 압축잔류응력비는 항복강도를 기준으로 0~20%로써 변화를 주었다.

표 1. 잔류응력 크기 변화(355MPa)

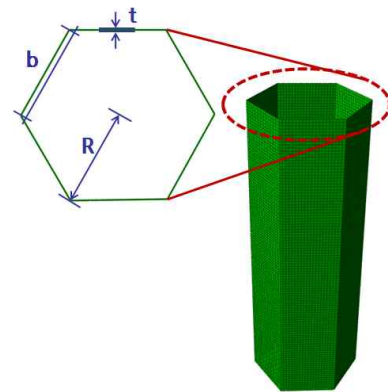
최대 인장응력비	최대 압축응력비	잔류인장응력 (MPa)	잔류압축응력 (MPa)
100%	25%	355	-88.8
80%	20%	284	-71.0
60%	15%	213	-53.3
40%	10%	142	-35.6
20%	5%	71	-17.8
0%	0%	0	0.0

3. 유한요소해석

3.1 해석모델 제원

다각형 단면 기둥 해석모델은 기준반경 2m에 내접하는 6각형을 대상으로 하였다. 모델의 축방향 길이 L은 10,000mm이며, 이는 통상적인 원형스티프너의 간격을 토대로 설정하였다. AASHTO LRFD의 영역별 모델은 각각 두께 80, 50, 32mm를 적용함으

로써 고려될 수 있었다. 모델 단면 형상은 그림 3에 나타낸 바와 같다. 여기서 R은 내접원의 반지름, b는 요소판(Subpanel plate)의 폭, t는 두께, b_i/t는 유효 폭-두께비를 의미한다. 사용강종은 구조용 고성능강재인 HSB500을 대상으로 하였고 따라서 강재의 재료특성은 항복강도 355 MPa, 탄성계수 210,000 MPa, 프아송비 0.3을 적용하였다.

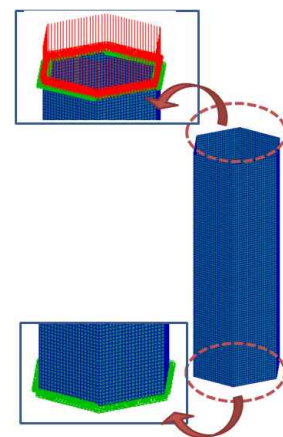


[그림 3] 모델 단면도(6각형)

표 2. 6각형 해석 모델 두께제원

	b _i /t	t(mm)
Compact section	25.0	80
Non-compact section	40.0	50
Slender section	62.5	32

3.2 유한요소 모델링



[그림 4] 6각형 단면 모델링 형상

다각형 기둥구조의 형상화를 위해 쉘요소인 S4R5를 적용하였으며, 길이방향으로 100개의 요소로써 분할하여 요소망을 구축하였다. 전체 단면에 균일한 압축응력이 축방향으로 재하되도록 하였고, 경계조

건은 하부는 단순지지 고정조건을, 상부 끝단면에 위치한 각 절점의 자유도는 축방향을 제외한 면내 방향에 대해 상대적으로 구속되도록 구성하여 국부 좌굴 거동에 중점을 두도록 하였다. 이러한 모델 상부에 상대적 변위를 구속해주는 Multi Point Constraint기법을 적용하였다.

3.3 유한요소 해석방법

범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 수치해석을 실시하였다. 탄성고유치해석과 비선형해석을 수행하였으며, 비선형 해석을 실시할 때 초기변형은 최소차수의 좌굴모드 형상을 DIN code에서 제시하는 초기변형의 크기인 $b_i/125$ 의 비율로써 반영하였다. (DIN 18800 part3)

4. 좌굴강도 해석 결과

인장잔류응력이 100%일 때를 잔류응력을 고려하지 않은 경우와 국부좌굴강도를 비교해 본 결과, 조밀단면에서는 5.4%, 비조밀단면에서는 6.3%, 세장단면에서는 1.4% 감소하는 것으로 나타났다.

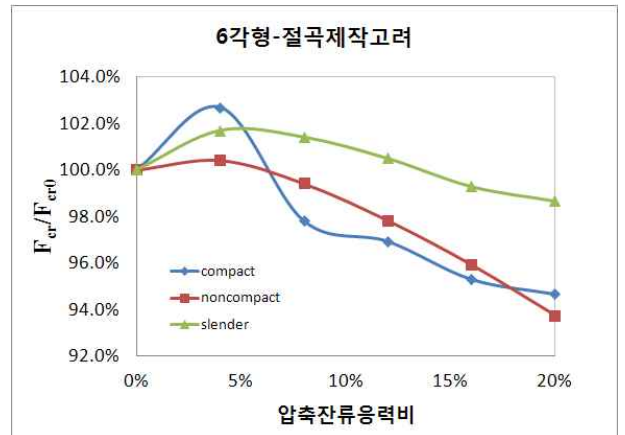
조밀단면(Compact section)과 비조밀단면(Non에서 잔류응력에 의한 영향이 유사하게 나타났다. 반면, 세장단면(Slender section)에서 잔류응력으로 인한 국부좌굴강도의 감소량이 가장 작게 나타났다.

표 3. 잔류응력크기에 따른 비교

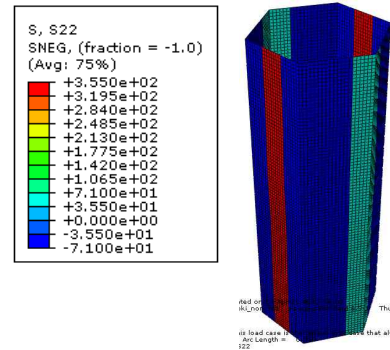
잔류응력비	compact section ($b_i/t=23.3$)		noncompact section ($b_i/t=35.7$)		slender section ($b_i/t=58.8$)	
	F_{cr} (MPa)	ratio (%)	F_{cr} (MPa)	ratio (%)	F_{cr} (MPa)	ratio (%)
0%	343.80	100.0%	288.7	100.0%	206.5	100.0%
20%	353.00	102.7%	289.9	100.4%	210.0	101.7%
40%	336.20	97.8%	287.0	99.4%	209.4	101.4%
60%	333.20	96.9%	282.4	97.8%	207.5	100.5%
80%	327.60	95.3%	276.9	95.9%	205.0	99.3%
100%	325.40	94.6%	270.6	93.7%	203.7	98.6%

아래 그림 3에서 F_{cr0} 는 잔류응력이 적용되지 않은 경우의 국부좌굴강도이며, 이를 기준으로 한 강도비율값으로 나타내었다. 압축잔류응력비 크기에 따라 각 단면 특성별 잔류응력의 영향을 비교해서 보여주

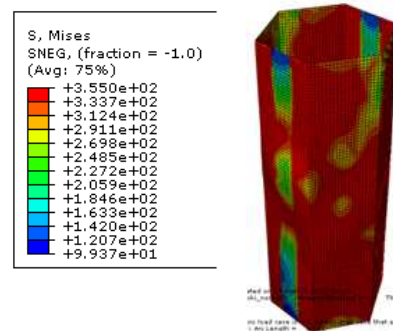
고 있다.



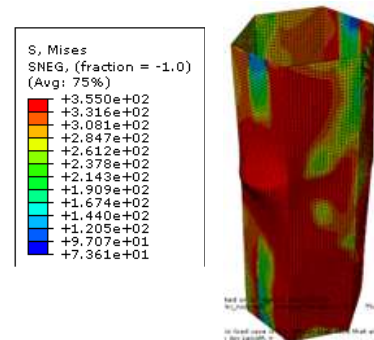
[그림 5] 해석결과



[그림 6] 초기상태



[그림 7] 해석결과(극한하중상태)



[그림 8] 해석결과(파괴상태)

5. 결론

본 연구에서는 용접 및 절곡 방식에 의해 제작된 다각형 단면의 초기 상태를 고려한 국부좌굴강도를 평가하였다. 이 때, 각 단면 특성별 잔류응력에 의한 민감도를 변수 해석적으로 분석하였다.

본 연구결과는 향후 다각형 단면 기둥의 설계를 위해 준용할 수 있는 평판 구조의 설계기준을 검토하는 데 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2011년 포스코 학위논문연구비 지원사업으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] “Structural steelwork Design and construction Amendment A1”, DIN code 18800-1/A1, Feb, 1996.
- [2] “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications American Association of State Highway and Transportation Officials”, Inc., Washington, D.C., 2007.
- [3] Lavassas, I. Nikolaidis, G. Zervas, P. Efthimiou, E. Doudoumis, I.N. Baniotopoulos C.C., “Analysis and design of the prototype of a steel 1-MW wind turbine tower”, Engineering structures, Vol.25, pp. 1097-1106, 2003.
- [4] Aoki, Y. Migita, Y. Fukumoto, Y., “Local Buckling Strength of Closed Polygon Folded Section Columns”, J. Construct. Steel Res., Vol.20, pp. 259-270, 1991.
- [5] Fukumoto, Y., Structural Stability Design : Steel and Composite Structures, 1997.