

매입형 합성기둥에 사용된 앵글 단부강판접합부의 수치적 연구

Numerical Study of Bolted End-Plate Splice of Angles Applied in Encased Composite Columns

김정현<sup>1)</sup> · 엄태성<sup>2)</sup> · 김대경<sup>3)</sup> · 임종진<sup>4)\*</sup>

Kim, Jeong Hyun, Eom, Tae Sung, Kim, Dae Kyung, Lim, Jong Jin

**ABSTRACT:** For the splice of the angles that comprise Prefabricated Steel-Reinforced Composite (PSRC) column, thick end plates are welded at the end of spliced angles and connected to each other by one or three high-strength bolts. In this splice method, however, centers of forces transferred by a bolt and an angle are not correspond to each other, prying action forces should be considered to determine the design strengths of the angle splices. In this study, the performances of the bolted end plate splices are investigated through the supplementary FE analysis validated by the direct tension and the flexural tests conducted in the previous study. All the results show that the bolted end plate splices of angles are susceptible to slip and rupture in the threaded portion of the bolts. As a result, the FE analysis results give the evidences of the prying action and the yield lines, which correspond well to the assumptions made in the previously proposed design process.

**KEYWORDS:** End plate connection, Bolted connection, Prying action, Encased composite column, Column splice

1. 서론

재래식 합성기둥이 H형강을 단면 중심에 배치하는 것과 다르게 PSRC(Prefabricated Steel-Reinforced Concrete) 기둥은 앵글을 단면 외곽에 배치하여 높은 구조적 효율성을 발휘할 수 있다. 특별히 이 기둥의 앵글에 단부강판-볼트 이음(그림 1)을 적용하면 시공성 또한 극대화할 수 있다.

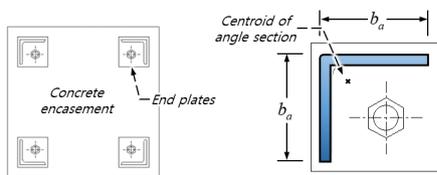


그림 1. 단부강판-볼트 이음

이러한 이음을 사용하였을 때 앵글에 인장력이 작용하면 고장력볼트의 인장저항을 통해 힘이 전달되는데, 이때 앵글과 고장력볼트의 인장력 중심들 간에 편심 지레작용이 발생하여 구조적 효율이 저하된다.

2. 단부강판-볼트 이음 설계법

엄태성 등<sup>1)</sup>은 그들의 연구에서 단부강판-볼트 이음부에 대한

실험을 수행하였다. 이 결과를 토대로 그들은 이음에 사용된 앵글의 소요인장력 예측 값보다 볼트의 인장저항이 크도록 제한하고, 단부강판 두께는 항복선 이론을 통해 도출한 최소값(식 1) 이상으로 확보되도록 설계법을 제안하였다.

$$t_{p, \min} = 1.1 \sqrt{\frac{T_u}{F_y(1 + a/b)}} \tag{1}$$

여기서  $t_{p, \min}$ 은 단부강판의 최소 두께이며,  $T_u$ 는 앵글의 소요인장력,  $F_y$ 는 강재의 항복강도,  $a$ 는 볼트에서 앵글이 배치되지 않은 강판 모서리까지의 거리이며,  $b$ 는 앵글에 형성된 항복선과 볼트 중심 간 거리이다.

따라서 이 연구에서는 그들의 단부강판-볼트 이음부 실험데이터를 바탕으로 유효한 3D 유한요소해석(FEA) 모델을 수립하고, 그들이 제안한 설계법을 검증하고자 한다.

3. 유한요소해석 모델링

그림 2는 해석에 사용된 각 재료의 응력-변형률 관계를 보여준다. 모든 강재요소는 Von Mises 항복기준이 적용되었다. 강판에는 탄성-완전소성 거동을 적용하였고, 볼트는 3선형 응력-변형률 관계를 통해 물리적 거동을 모사하였다. FE모델에는 볼트의 나사산이 모사되지 않았는데, 대신 강도감소계수 0.75를 적용하여 나사산에 의한 볼트 단면적 감소 효과를 고려하였다. 콘크리트는 압축 및 인장에 대해 손상소성모델(damaged plasticity model)을 적용한다.

\* 교신저자(Corresponding Author, jjim@senkuzo.com)

1) ㈜센벡스 연구개발부 사원, 공학석사  
 2) 단국대학교 건축공학과 부교수, 공학박사  
 3) 서울대학교 건축공학과, 박사수료  
 4) ㈜센벡스 연구개발부 과장, 공학박사

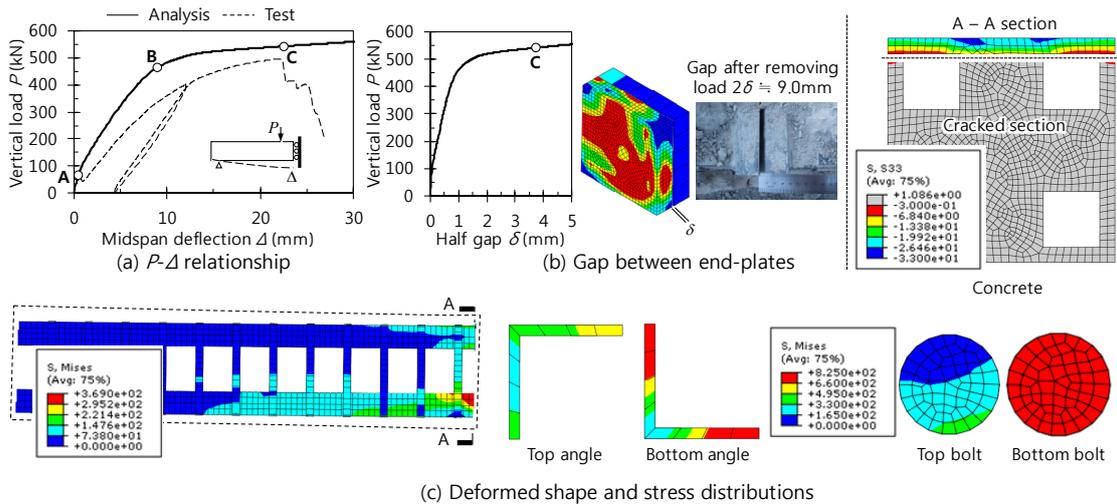


그림 4. 단부강판-볼트 이음부에 대한 휨실험과 그에 대한 수치해석 결과

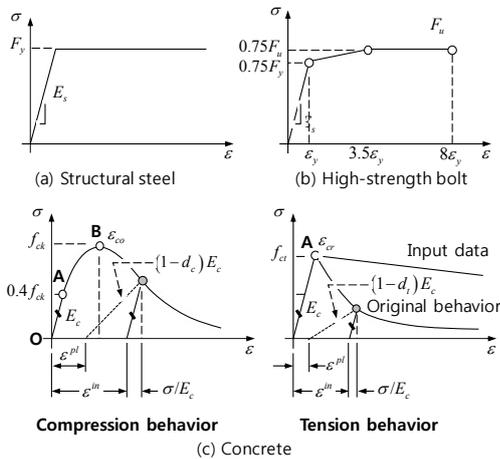
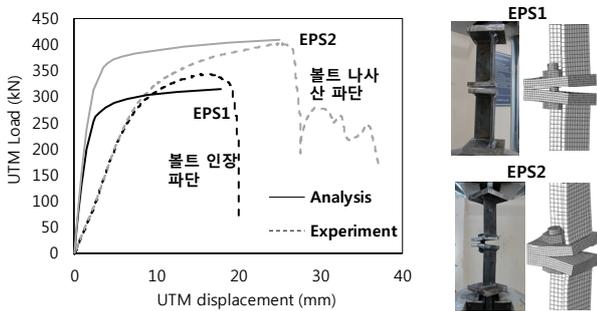


그림 2. 강재, 볼트 및 콘크리트 일축 응력-변형률 관계

4. 실험결과 및 해석결과 비교



(a) 실험과 수치해석 결과 비교 : P-Δ 곡선 (b) 파괴형상 비교

그림 3. 개별앵글 인장실험과 해석 결과 비교

그림 3은 단부강판 개별앵글 인장실험과 해석결과의 비교를 보여준다. EPS1 실험체의 단부강판 두께는 25 mm로, M24 볼트 항복강도로부터 구한 이음부 소요강도를 만족하기 위한 최소 단부강판 두께 22.3 mm보다 컸다. 그 결과, 단부강판의 지레작용이

크게 발현되지 않았으며, 볼트에 응력이 비교적 고르게 발생되었다. EPS2는 EPS1과 동일한 단부강판 두께로 계획되었으나, 인장력에 저항하기 위한 최소 단부강판 두께인 27.8 mm보다 작아 단부강판의 면외방향 변형이 크게 나타났다. 이에 따른 강한 지레 작용으로 단부강판과 볼트에 국부적 응력집중이 나타났다.

단부강판 볼트 이음을 사용한 앵글 매입형 합성기둥에 대하여 해석과 휨실험에 의한 수직하중-처짐(P-Δ)관계를 그림 4에 나타냈다. 앵글 단면치수 및 볼트 직경은 각각 L-130×130×12 및 M30 이고, 단부강판의 두께는 30 mm이다. FE해석은 콘크리트 균열점 A부터 하부 앵글의 단부강판접합부에서 볼트 항복이 발생하는 항복점 B까지는 강성을 크게 평가하였다. 하지만 파괴점 C의 최대강도와 OABC 하중-변위 관계는 실험과 해석 결과가 잘 일치하였다. 그림 4(b)는 인장앵글의 단부강판 모서리에서 측정된 이격변위를 보여주는데, 파괴점 C에서 단부강판에 발생 이격변위는 3.9 mm로써 실험종료 후 단부강판에 잔류하는 이격변위와 유사하였다. 최대강도에서 볼트는 전단면에서 항복응력이 발현되었다. 단부강판 또한 항복강도에 도달하였는데 이때 항복응력의 분포는 설계가정에서 가정한 항복선과 잘 일치하였다.

참고문헌

[1] 엄태성, 양종민, 김대경, 이승환. (2018). 매입형 합성기둥에 사용된 앵글 단부강판접합부의 거동 및 성능평가. 한국구조학회, Vol. 30, No. 4, pp. 225-236.

감사의 글

이 연구는 한국연구재단의 2019년 대학중점연구소지원사업(NRF-2018R1A6A1A07025819) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.