



유한요소해석을 이용한 공업화박판강구조 단부판 접합부의 회전강성감소계수

이준섭¹ · 신경재^{2*} · 이수현³ · 이희두⁴ · 김철환⁵

¹석사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부 건축공학전공, ²교수, 경북대학교, 건축공학과,
³조교수, 경북대학교, 융복합시스템공학부, ⁴전임연구원, 경북대학교, 건축안전기술연구소, ⁵교수, 경북대학교, 건축공학과

Rotational Stiffness Reduction Factors of End-plate Connection for PEB Using Finite Element Analysis

Lee, Jun-Seop¹, Shin, Kyung-Jae^{2*}, Lee, Swoo-Heon³, Lee, Hee-Du⁴, Kim, Cheol-Hwan⁵

¹Master Course, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

²Professor, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

³Assistant Professor, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University, Sangju, 37224, Korea

⁴Research Fellow, Institute of Building Safety Technology, National University, Daegu, 41566, Korea

⁵Professor, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

Abstract - The pre-engineered building(PEB) construction has been gradually applied to single story buildings as a practical and efficient alternative to conventional buildings. However, there has been a few structure collapse due to suddenly excessive load. Although a structure design requires accurate and professional skills, the PEB system tends to be designed simply because of complexation of structural analysis for connections. This paper shows the finite element analysis(FEA) using ABAQUS software on bolted connection which was previously tested. The FEA condignly simulated the behavior of bolted connection in PEB system and was in close agreement with experimental results. Then the stiffness reduction factor of the bolted joints that can be used in the actual design is presented through the analysis of the joint parameters.

Keywords - Pre-engineered building, End plate connection, Finite element analysis, Structural collapse, ABAQUS

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 고강도 재료의 생산과 시공 기술의 발달로 장스팬 대형철골건물이 많이 세워지고 있다. 특히, 부재 절약을 위해 부재내의 응력에 따라 단면의 크기가 결정되는 변단면 구조의 공업화박판강구조(Pre-Engineered Building, PEB)가

많이 사용되고 있다. 재료비와 인건비의 절약, 공기단축 및 대공간 구조의 공간활용성과 시공의 편리성 등의 장점으로 인해 사용이 점차적으로 증가하고 있는 추세이다. 그러나 최근 갑작스런 적설하중에 의하여 경주 마우나오션리조트의 체육관^[1]이나 울산 지역의 공장 6개가 무너지고, 갑작스런 돌풍에 의하여 인천 창고 건물이 붕괴되는 사례가 증가하면서 공업화박판강구조의 안정성 문제가 대두되고 있다^[2].

공업화박판강구조는 기존의 장스팬 대형철골건물과 다르게 변단면의 장스팬 구조부재로 구성되므로 부재를 일괄적으로 공장생산하는 것이 어렵다. 이로 인해 장스팬의 부재를 현장에서 볼트를 이용하여 접합부를 연결하는 것이 일반적이다. 그러나 공업화박판강구조 설계 시 사용하는 프로그램의 대다수는 볼트 접합부를 완벽하게 고려해주지 않고, 단순화하여 해석하는 경우가 발생하여 접합부 내력이 부족할 경

Note.-Discussion open until February 28, 2018. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 7, 2017; revised July 28, 2017; approved on July 28, 2017.

Copyright © 2017 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-53-950-5591 Fax. +82-53-950-5590

E-mail. shin@knu.ac.kr

우 발생하는 접합부 초기강성 감소를 표현하지 못하고 있다. 이로 인해 정확한 처짐값을 예측할 수 없고, 최대하중 또한 명확하게 산정할 수 없는 경우가 많다. 정확한 공업화박판강구조의 붕괴를 예측할 수 없기 때문에 큰 사고로 이어지는 경우가 있어 공업화박판강구조 접합부에 대한 정확한 거동을 연구할 필요가 있다. 따라서 이 연구에서는 단부판 접합부(End-plate connection)에 대한 기존 실험결과^[3]와 유한요소해석을 비교검토하고 접합부의 실제 거동을 예측하기 위해 이론해석과 유한요소해석결과를 바탕으로 볼트 접합부의 강성감소를 고려한 강성감소계수(α)를 제시하고자 한다.

1.2 연구내용

이 논문에서는 접합부의 형태에 따른 접합부 강성의 변화값인 강성감소계수를 산출하는데 목적이 있다. 기존의 공업화박판강구조 접합부 실험결과^[3]를 분석하고, ABAQUS를 사용한 실험의 재현을 통해 세부적인 모델링 요소의 신뢰성을 확보하고 접합부의 거동을 파악하였다. 기 실험된 두 개의 대표적인 실험체 FT-C와 ET-G의 유한요소해석을 수행하였다. 실험체에 강성감소계수를 적용시켜 표현한 뒤, 탄성하중범을 활용하여 강성 변화에 따른 접합부의 거동을 이론 해석식으로 제시하였다. 유한요소해석결과를 바탕으로 강성감소계수를 구하기 위해 시컨트(Secant)계수를 활용하여 일정한 탄성계수를 산정하였다. 이를 제시된 식을 통해 접합부의 강성감소계수를 계산하고 추가적으로 다양한 접합부 형상을 해석하여 강성감소계수를 제시하고자 한다.

2. 기 수행 실험 요약^[3]

실험체의 형상은 Fig. 1과 같이 단부판 접합부로 계획하

였으며, 실험체에 사용된 고력볼트는 M20(F10T, 표준구멍)을 사용하였다. 실험은 보의 중앙부에 집중하중으로 3점 휨 가력 실험을 실시하였다. 실험은 구조프레임 위에 실험체를 설치하고 하중, 처짐 등의 정확한 실험결과를 취득하기 위해 별도의 로드셀과 변위계를 설치하여 측정하였으며, 실험체의 국부적인 변형률을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 부착하였다. 실험의 진행은 하중에 의하여 종국상태에 이를 때까지 0.1mm/s 변위제어로 하였다. 실험체의 종류는 Table 1과 같이 매입형, 연장형 두 개로 구성하였다.

실험체는 H-800×200×6×12의 단면에 가력스팬은 7,200mm로 계획되었고, 재료시험결과를 바탕으로 소성모멘트(M_p)와 이에 상응하는 가력하중(P_p)과 변위(δ_p) 등을 Table 2에 정리하였다.

엔드플레이트의 이론 해석은 다음과 같은 절차를 통해 계산하였다. 엔드플레이트 항복, 지레형 반력에 의한 볼트 항복, 지레형 반력이 없을 경우의 볼트 항복에 대해 계산되며, AISC Design Guide^{[4],[5]}를 참고하여 Table 3에 매입형과 연장형 접합부의 설계식을 정리하였다. 계산된 접합부의 강도는 Table 4에 정리하였다. 연장형 접합부가 이론적으로 매입형 접합부보다 강한 것을 확인할 수 있으며 실험결과와 비교하였다.

Table 1. Classification of specimens

Type	Specimen	Explanation
Flush	FT-C	Fully-tight condition
Extended	ET-G	Fully-tight condition

Table 2. Flexural property of H-beam

Type	Z_x (mm ³)	M_p (kN·m)	P_p (kN)	δ_p (mm)
H-800×200×6×12	2.79×10^6	908.2	504.56	22.09

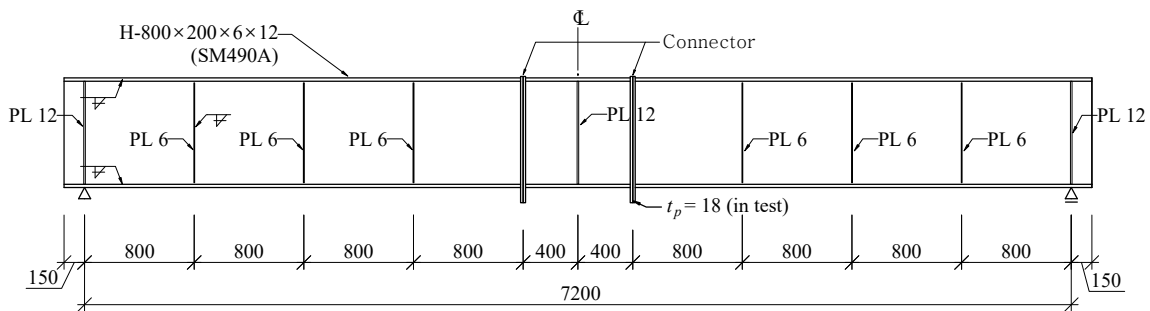


Fig. 1. Test set up

Table 3. End-plate design

Flush end-plate design	
	End-plate yield
	$M_n = M_{pl} = F_{py} t_p^2 Y \quad (1)$
	$Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_f} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_f + 0.75p_b) + h_2 (s + 0.25p_b)] + \frac{g}{2} \quad (2)$
	Use $p_f = s$, if $p_f > s$
	$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad (3)$
Bolt rupture with prying action	
$M_q = \max \left \frac{2(P_t - Q_{max})(d_1 + d_2)}{2T_b(d_1 + d_2)} \right \quad (4)$	
Bolt rupture without prying action	
$M_{np} = 2P_t(d_1 + d_2) \quad (5)$	
Extended end-plate design	
	End-plate yield
	$M_n = M_{pl} = F_{py} t_p^2 Y \quad (6)$
	$Y = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{P_{f,i}} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_{f,i} + s)] \quad (7)$
	Use $p_{f,i} = s$, if $p_{f,i} > s$
	$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad (8)$
Bolt rupture with prying action	
$M_q = \max \left \frac{2(P_t - Q_{max})d_0 + 2(P_t - Q_{max,i})d_1}{2(P_t - Q_{max,i})d_0 + 2(T_b)(d_1)} \right \quad (9)$	
Bolt rupture without prying action	
$M_{np} = 2P_t(d_0 + d_1) \quad (10)$	

Where, M_n : Nominal strength of connection, Y : Yield-line mechanism parameter, M_q : Connection strength for the limit state of bolt fracture with prying action, M_{np} : Connection strength for the limit state of bolt fracture with no prying action, M_{pl} : Connection strength for the limit state of end-plate yielding, P_t : Bolt material ultimate tensile load capacity, $Q_{max,i}$: Maximum possible prying force for interior bolts, $Q_{max,o}$: Maximum possible prying force for outer bolts

FT-C 실험체는 가력점 인근의 중앙부 부재에서 플랜지 및 웨브의 국부좌굴 등의 변형이 나타났으며, 부재 길이방향으로 S자 형태로 변형이 발생하였고, 엔드플레이트 하단부가 벌어지면서 항복하였다. ET-G 실험체는 부재의 비틀림이 발생했으며, 압축 플랜지에도 국부 좌굴이 발생하였고, 엔드플레이트 하부 인장 측 부분에 3.76mm의 이격이 발생하였다.

Figs. 2와 3은 각각 FT-C와 ET-G 실험체의 실험결과와 이론적 결과를 비교한 그래프이다. 두 실험체의 강성이 이론

Table 4. Capacity of end-plate connections (FT-C & ET-G)

Type		Flush type (kN · m)	Extended type (kN · m)
End-plate yield		506.45	628.71
Bolt rupture	w/ prying action	611.11	682.78
	w/o prying action	671.04	749.74

보다 감소한 것을 확인할 수 있었다. 매입형 FT-C 실험체는 최대하중 약 475kN에서 약 50mm의 처짐이 발생하였고, 연

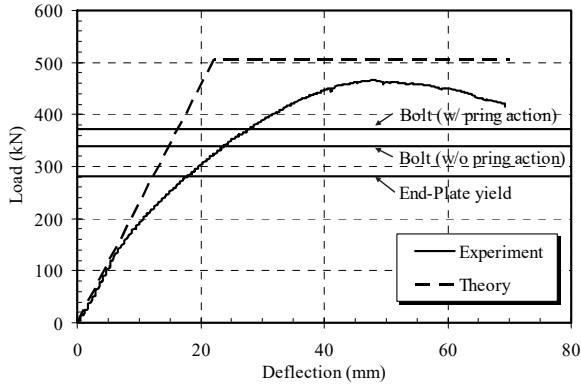


Fig. 2. Load-deflection curve of FT-C specimen

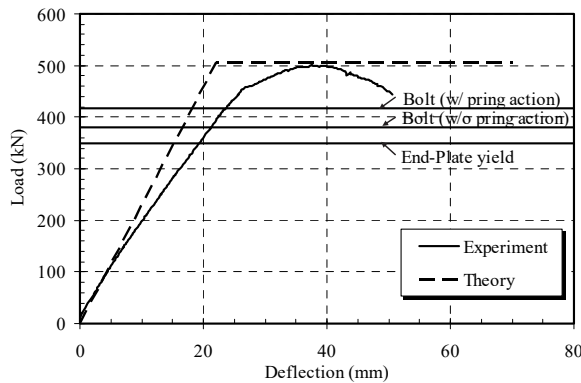


Fig. 3. Load-deflection curve of ET-G specimen

장형 ET-G 실험체는 최대하중과 처짐이 각각 500kN, 40mm로 측정되었다. ET-G와 FT-C의 비교하면, 연장형 타입의 엔드 플레이트가 매입형 타입보다 접합부가 강하게 설계되는 것을 확인할 수 있었다.

매입형은 접합부의 항복으로 인해 강성이 많이 감소하고, 최대 강도 또한 P_p 에 도달하지 못하였다. 연장형 접합부는 최대 강도가 P_p 에 도달하였지만 엔드플레이트 항복으로 인해 강성이 많이 감소한 것을 확인할 수 있다. 접합부의 이론 값보다 강도가 더 높게 나온 것은 중앙부 추가 볼트와 횡지지에 의한 고정 효과라고 판단된다.

3. 전산 해석

3.1 유한요소해석 모델링

유한요소해석을 위해 ABAQUS/CAE^[6]와 ABAQUS/Standard^[7]를 사용하였으며 재료 물성치는 시험편의 재료 시험값

을 활용하였다. 해석 프로그램으로 사용된 ABAQUS에서는 공칭응력과 공칭변형률을 진응력과 진소성변형률로 변환하여 입력하여야 한다. 응력-변형률 값으로부터 아래 식을 활용하여 ABAQUS에 입력하였다^[8].

$$\sigma_{true} = \sigma_{eng}(1 + \epsilon_{eng}) \tag{11}$$

$$\epsilon_{ln}^{pl} = \ln(1 + \epsilon_{eng}) - \frac{\sigma_{true}}{E} \tag{12}$$

여기서, σ_{true} : 진응력, σ_{eng} : 공칭응력, ϵ_{ln}^{pl} : 진소성변형률, ϵ_{eng} : 공칭변형률

3.2 실험체 모델링

해석 대상 접합부 모델링은 보의 대변형을 고려하여 8개의 절점을 가진 저감적분요소인 3차원 솔리드 요소(C3D8R)를 사용하여 모델링하였다. 저감적분요소를 사용하면 해석시간을 줄일 수 있고, 전체 적분을 사용했을 때 보다 좀 더 안정적인 결과를 얻을 수 있다. 접촉요소는 general contact 요소, 접촉조건으로 penalty조건을 적용하여 0.5의 마찰계수를 입력하였고 실험체와 동일한 지지조건에서 해석을 실시하였다.

모델링에 사용된 접촉 조건은 면대면(surface-to-surface)을 사용하였고, 볼트 구멍은 실제와 같이 볼트보다 2mm 크게 하고 볼트 구멍 중심에 볼트가 체결되도록 모델링 하였다. 해석에 사용되어진 볼트는 M20(F10T) 고력볼트의 제원을 이용하여 프로그램에서 구현하였다. 적용된 볼트 장력은 M20(F10T)의 설계볼트장력인 165kN을 적용하였다. 두 실험체의 명확한 결과 해석을 위하여 변위 제어를 통하여 하중을 가력 하였다. 실험체와 비교를 위하여 FT-C는 70mm, ET-G는 50mm 변위 제어를 하였다.

Fig. 4는 두 실험체의 von Mises 응력도이다. 매입형 실험체는 Fig. 4(a)와 같이 엔드플레이트 접합부 하단부가 실험결과와 유사하게 이격이 발생하였고 인장측 볼트의 하단부에 응력이 집중적으로 발생하였다. 연장형 실험체는 Fig. 4(b)와 같이 엔드플레이트 접합부 하단부 볼트와 볼트 사이에 이격이 발생하였고, 이격의 위치 차이로 매입형과 연장형의 최하단부 볼트의 응력 분포가 서로 반대편으로 집중되었다. Fig. 5는 실험과 유한요소해석결과를 비교한 그래프이다. 초기하중 상태에서의 강성이 유사하고, 최대 강도가 유사하게 도출되어 모델링의 신뢰성이 있다고 판단하였다.

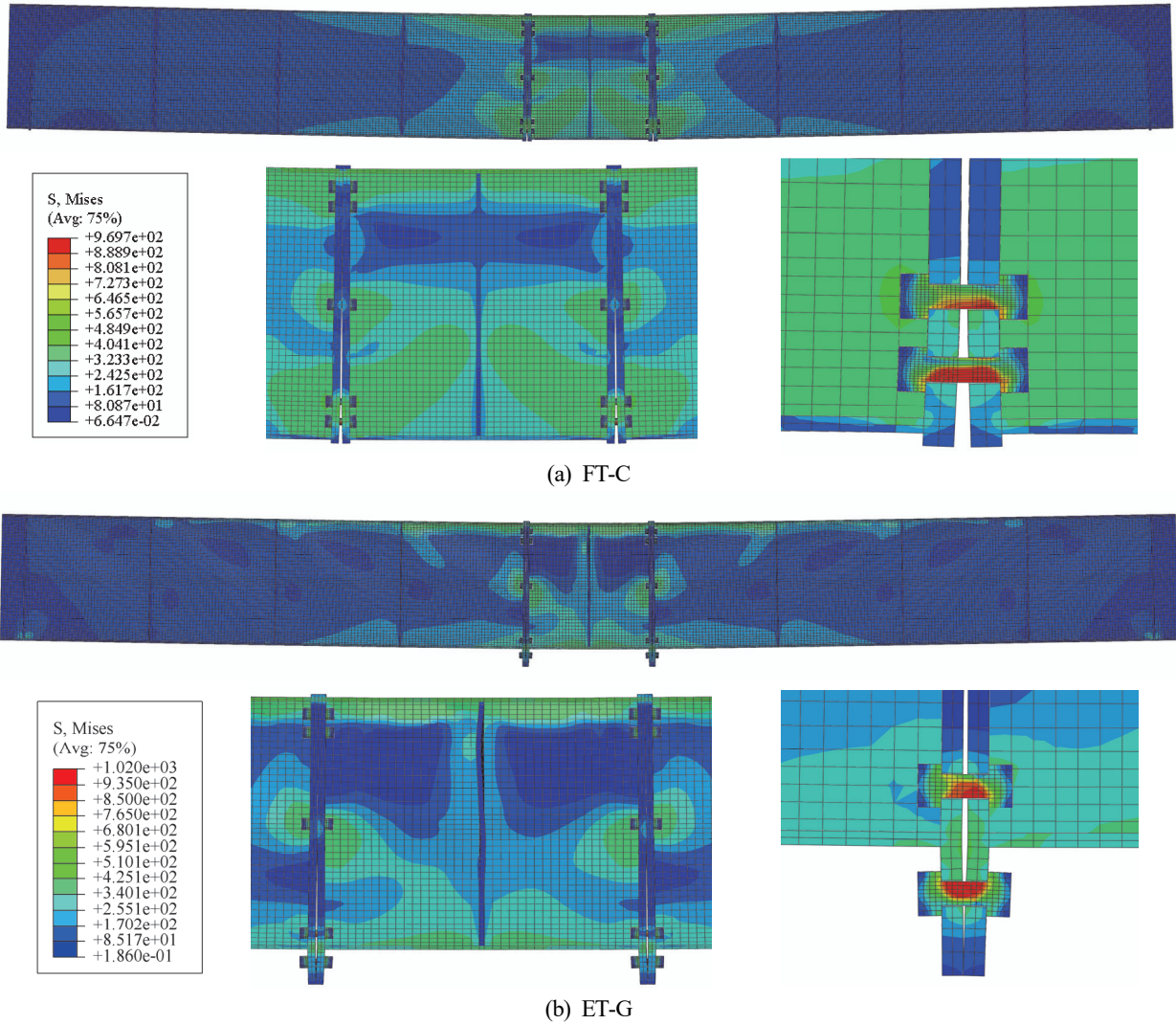


Fig. 4. von Mises stress distribution

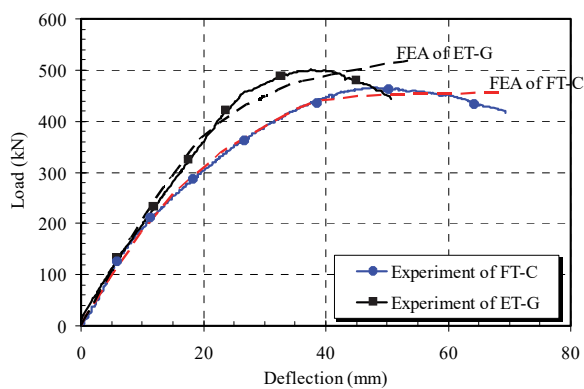


Fig. 5. Load-deflection relationship

4. 강성감소계수 산정

4.1 이론해석

PEB구조는 일반적인 라멘구조와 달리 직선형 연속 부재가 아니라 변단면으로 설계된 부재이기 때문에 한 번에 자동화 공정에 의해 생산할 수 없다. 이에 접합부를 볼트를 이용하여 연결하는 경우가 대다수이다. PEB접합부는 엔드플레이트를 활용하여 볼트를 이용한 접합을 주로 이용한다. 접합부의 크기에 따른 볼트 개수의 제한으로 인해 충분한 접합부 내력을 발휘하도록 설계하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 보의 내력보다 접합부의 내력이 줄어들면 접합부 부분의 강성이 감소하게 되어 PR(Partially restrained) type의 접합부가 구성된다. 볼트 접합부 부분의 강성 감소를 표현하기

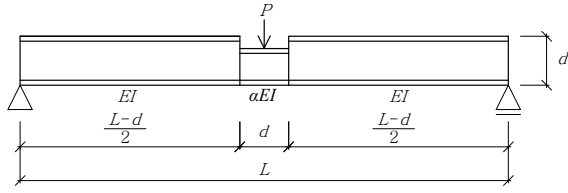


Fig. 6. Simplification of PEB connection

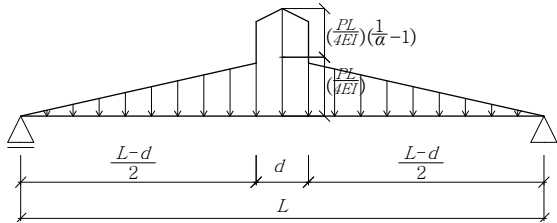


Fig. 7. Curvature distribution

위해 Fig. 6과 같이 처짐 계산을 위한 이론해석모델을 표현하였다. 이를 이용하여 접합부의 감소된 강성에 따른 처짐을 계산할 수 있다. 탄성하중법을 이용하여 위의 Fig. 6을 해석하면 곡률은 Fig. 7과 같이 표현된다. 곡률분포로부터 처짐을 계산하여 정리하면 아래 식들과 같다.

$$\delta_b = \frac{P(L-d)^3}{48EI} + \frac{Pd(3L^2 - 3Ld + d^2)}{48\alpha EI} \quad (13)$$

$$\delta_s = k \frac{PL}{4GA} \quad (14)$$

$$\delta = \delta_b + \delta_s \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{Pd(3L^2 - 3Ld + d^2)}{P(L-d)^3 - 48\delta_b EI} \quad (16)$$

여기서, δ_b : 휨에 의한 처짐, δ_s : 전단에 의한 처짐,
 δ : 전체 처짐, E : 탄성계수, L : 스패,
 d : 유효폭(보의 높이를 기준으로 가정),
 P : 하중, k : 전단 형상 계수, A : H형강의 단면적,
 G : 전단탄성계수

접합부의 엔드플레이트와 볼트 체결 현황에 따라 초기 강성 및 최대 강도가 달라진다. 많은 변수에 따라 실험을 할 수 없으므로, 강성감소계수를 산정하기 위한 초기강성을 비선형 유한요소해석 프로그램을 통해 나타내었다. 초기 강성을

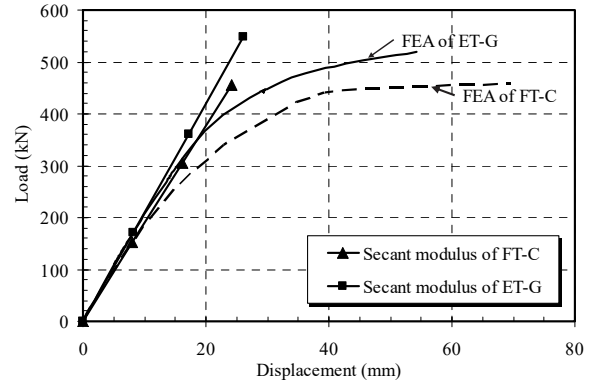


Fig. 8. Stiffness reduction factor calculation

계산하기 위해 최대 강도의 1/3인 기준점과 원점을 잇는 경사도를 탄성계수로 활용하는 시킨트 계수를 적용하였다. Fig. 8은 강성감소계수 산정 결과로서 초기 강성을 활용하여 계산하면, 강성감소계수가 FT-C는 $\alpha = 0.434$, ET-G는 $\alpha = 0.6$ 이 나오는 것을 확인할 수 있다.

4.2 변수 해석 모델링

접합부의 해석과 이론적인 감소계수 산정식을 통해 강성감소계수를 산정할 수 있다. 본 논문은 이를 토대로 보의 높이, 엔드플레이트의 두께, 볼트의 개수와 같은 변수의 다양화를 통해 강성감소계수를 제시하고자 한다. 실제 시공 현장에서는 대체로 연장형 접합부를 사용하므로 그에 따른 강성감소계수를 제시하고자 한다.

Table 5는 변수에 따른 유한요소해석 모델명이다. 실제 설계 시 엔드플레이트는 보의 항복 모멘트에 맞춰 접합부 설계가 이루어져야하는 볼트의 개수 한계, 볼트 경간 및 크기의 부족 등으로 인해 보의 항복 모멘트보다 낮게 설계되는 경우가 있다. AISC Design guide에 따라 설계를 하게 되면 H형강의 항복모멘트보다 엔드플레이트, 볼트의 항복모멘트가 더 크게 설계가 된다. 이와 같은 경우 엔드플레이트의 강성이 증가하여 강성감소계수는 발생하지 않게 된다. 본 논문

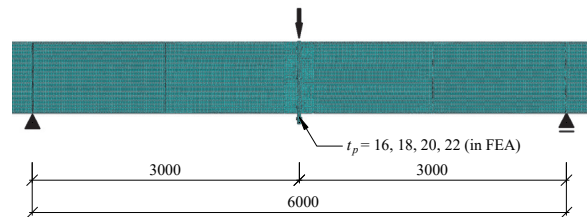


Fig. 9. Finite element analysis model

Table 5. Summary of analysis models

Model	Section	Connection type	Hight strength bolt	End-plate thickness, t_p (mm)	M_p (kN·m)	M_{pl} (kN·m)	M_{bt} (kN·m)	$\frac{\min(M_{pl}, M_{bt})}{M_p}$
ET800-22-6	H-800×200×6×9 (SM490)	FR	6-M22 (F10T)	22	737.44	785.21	808.61	1.06
ET800-20-6		PR		20		648.93	814.63	0.88
ET800-18-6		FR		18		525.64	809.75	0.71
ET800-20-10		FR	10-M20 (F10T)	20		811.91	1091.59	1.10
ET800-18-10		PR		18		657.65	1094.25	0.89
ET800-16-10		PR		16		519.62	1083.56	0.70

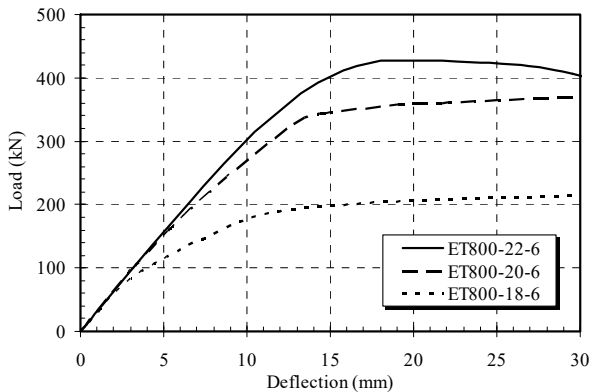


Fig. 10. FEA results of models with 6 bolts

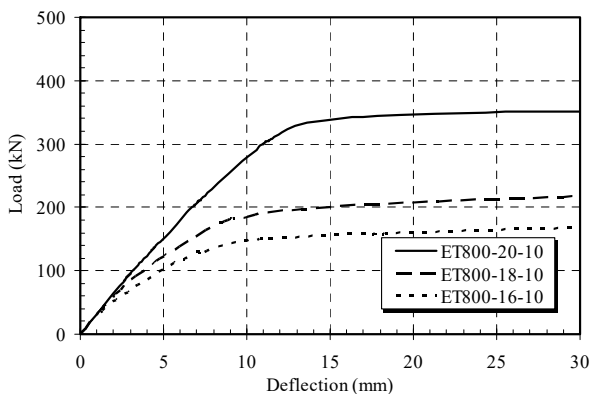


Fig. 11. FEA results of models with 10 bolts

Table 6. Stiffness reduction factor results

Model	$\frac{\min(M_{pl}, M_{bt})}{M_p}$	Stiffness reduction factor (α)
ET800-22-6	1.06	0.974
ET800-20-6	0.88	0.874
ET800-18-6	0.71	0.665
ET800-20-10	1.10	0.996
ET800-18-10	0.89	0.756
ET800-16-10	0.70	0.491

에서는 접합부의 강도가 보의 항복강도보다 낮은 모델들을 대상으로 강성감소계수를 제시한다.

유한요소해석 모델은 위의 실험체와 동일한 방법으로 진행하였다. Fig. 9는 유한요소해석 모델로 가력 스패 6,000 mm로 하여 하나의 접합부로 모델을 설계하였고, 가력점은 보의 중앙부이고 변위제어로 수행하였다.

4.3 강성감소계수 산정

Fig. 10은 볼트 6개로 구성된 엔드플레이트 접합부의 해석결과이고 Fig. 11은 볼트 10개로 구성된 접합부의 유한요소해석 결과이다. 볼트의 개수, 엔드플레이트의 두께가 줄어들수록 최대 강도 및 강성이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 실제 M_p 보다 도달하지 못한 것은 압축 플랜지의 국부 좌굴에 의한 것으로 판단된다.

유한 요소 해석 결과의 초기 강성을 시킨트 계수를 활용하여 계산하면 Table 6과 같이 얻을 수 있다.

5. 결론

이 논문은 엔드플레이트 접합부의 실험 결과를 활용하여, 실험체의 유한요소해석 결과의 신뢰성을 검증하고, 다양한 엔드플레이트 접합부에 대한 변수해석을 통해 강성감소계수 (α)를 제시하였다.

- (1) 접합부를 포함한 보부재의 유한요소해석 결과와 이론값의 비교를 통하여 접합부가 포함된 부재의 강성 감소 값인 강성감소계수를 구할 수 있다.
- (2) 실험결과와 유한요소해석 결과를 통해 부재의 내력보다 접합부의 내력이 적으면 초기 강성 및 최대강도가 줄어드는 것을 확인할 수 있고 접합부의 내력이 줄어들수록 이론적으로 계산한 강성감소계수도 줄어드는 것을 확인

할 수 있다.

- (3) 대공간, 장경간의 설계 시 휨모멘트의 크기는 점차 커질 수밖에 없다. 이를 고려한 접합부 설계가 이루어져야하나 접합부의 형태상 제약이 발생할 수밖에 없다. 따라서 접합부 강도가 보의 강도보다 낮게 설계될 경우 강성감소계수를 적용하여 일반적인 공업화박판강구조설계 시 처짐에 대한 검증에 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014-H1C1A1067008).

참고문헌(References)

[1] 이철호(2014) 공업화박판강구조(PEB구조)와 최근 경주 지붕붕괴 참사, 대한건축학회지, 대한건축학회, 제58권, 제10호, pp.19-28.
Lee, C.-H. (2015) Metal Building (PEB) Systems and Recent Roof Collapse Tragedy at Gyeongju, *Review of Architecture and Building Science*, Architectural Institute of Korea, Vol.58, No.10, pp.19-28 (in Korean).

[2] 이창환, 우운택, 이상원, 정광량(2014) 기존PEB 구조물의 위험도 평가, 2014년도 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 대한건축학회, pp.545-546.
Lee, C.-H., Woo, W.-T., Lee, S.-W., Chung, K.-R. (2014) Risk Assessment for Existing PEB Structures, *Proceedings of 2014 Fall Conference of Architectural Institute of Korea*, AIK, pp.545-546 (in Korean).

[3] 김철환, 이명재, 김희동, 김사빈(2015) 엔드플레이트 접합부의 구조성능에 관한 실험적 연구, 2015년도 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.49-50.
Kim, C.H., Lee, M.J., Kim, H.D., and Kim, S.B. (2015) An Experimental Study on the Structural Behavior of End-Plate Beam-to-Beam Connections for H-Beam with Slender Web, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.49-50 (in Korean).

[4] Murray, T.M., and Sumner, E.A. (2004) *Design Guide 4: Extended End-Plate Moment Connections: Seismic and Wind Applications* (2nd Ed.), American Institute of Steel Construction, USA.

[5] Murray, T.M., and Shoemaker, W.L. (2002) *Design Guide 16: Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections*, American Institute of Steel Construction, USA.

[6] Dassault Systèmes Simulia Corp. (2013) *Abaqus/CAE User's Manual*, DSS, USA.

[7] Dassault Systèmes Simulia Corp. (2013) *Abaqus Analysis User's Manual*, DSS, USA.

[8] 신경재, 임보혁, 이수현, 최성모(2011) 웨브를 볼트로 접합한 보-기둥 접합부의 유한요소해석, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제23권, 제3호, pp.305-316.
Shin, K.J., Lim, B.H., Lee, S.H., and Choi, S.M. (2011) FEA of Beam-Column Connection with Bolted Web, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.3, pp.305-316 (in Korean).

요 약 : 공업화박판강구조물은 재료 및 인건비의 절약, 공기 단축 및 대공간 구조의 공간 활용과 시공의 편리성 등의 장점으로 사용이 증가하고 있다. 그러나 최근 갑작스런 과도한 하중으로 인해 붕괴 사고가 일어나고 있다. 구조 설계에 정확하고 전문적인 기술이 필요하지만, 공업화박판강구조의 접합부 볼트 접합부를 완벽하게 고려해주시지 않고 단순화하여 해석하는 경우가 많다. 위 논문에서는 선행 실험된 볼트 접합부를 ABAUQS를 이용한 유한요소해석을 실시하고, 실험 결과 비교를 통해 신뢰성을 검증하였다. 그리고 접합부의 변수해석을 통하여 실제 설계에 이용할 수 있는 볼트 접합부의 강성감소계수를 제시하였다.

핵심용어 : 공업화박판강구조, 단부판 접합부, 유한요소해석, 구조물 붕괴, ABAQUS
