

수직하중에 따른 강구조물 경사기둥 접합부의 구조성능평가

Structural Performance Evaluation of Connection with Inclined Column for Steel Structure Subjected to Vertical Loads

김 은 석* · 조 정 혁** · 김 태 진*** · 김 중 호****

Kim, Eun-Suk · Cho, Jeong-Hyeok · Kim, Taejin · Kim, Jong-Ho

요 약

최근 초고층 구조물은 다양한 형태에 따른 건축 계획 및 설계에 대한 요구되어지며 이를 충족시키기 위해 다양한 구조시스템이 개발되어지고 있다. 특히 경사기둥은 구조물의 높이가 증가할수록 구조물의 면적이 점차적으로 감소하는 Tapered 형태의 비정형 초고층 구조물의 중요한 설계 및 구조요소이다. 본 논문에서는 경사기둥의 축하중에 의해 발생하는 수평력으로 인한 접합부의 영향 및 보 플랜지의 취성파괴에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 강구조물 경사기둥 접합부에 대한 유한요소해석을 수행하였다.

keywords : 경사기둥, 수직하중, 보 플랜지, 연성파괴

1. 서 론

20세기 초고층 건축물은 단순화에 의한 경제성 확보를 미덕으로 하는 모더니즘의 국제적 스타일이 획일적으로 적용되었지만, 21세기에는 향상된 설계 및 시공기술과 함께 다양한 형태의 비정형 구조물이 설계되어지고 있다. 이러한 비정형 구조물의 경우 다양한 입면형태로 설계되어 수직기둥이 아닌 경사진 기둥에 대한 설계가 불가피하다. 이수곤 등(2007)은 경사진 기둥으로 설계된 구조물의 경우 기둥에 작용하는 축하중에 따라 각층의 보나 슬래브에 영향 및 기둥 자체의 변형에 의한 구조물 전체의 변형을 유발할 수 있으며 경사기둥으로 설계된 구조물의 경우 기둥의 축하중에 따라 발생하는 수평력에 대하여 보와 슬래브의 보강을 필요하다고 했다. 이철호 등(1998)은 미국의 지진사례와 실물대 실험을 통해 보-기둥 접합부에 취성파괴가 발생하는 것과 달리 국내의 관행에 따른 보 기둥 접합부는 보 플랜지의 열영향부에 응력이 집중이 된다고 보고하였다. 또한 김태진 등(2008)과 최성모 등(2008)의 보-기둥 접합부 실물대 실험에서도 보 플랜지 열영향부 부근에서 파단이 발생된 것을 관찰할 수 있었다. 최근 국외뿐만 아니라 국내에서도 다양한 형태의 비정형 구조물의 프로젝트를 진행되어지고 있음에도 불구하고 경사기둥에 의해 발생하는 수평력을 고려한 철골 보-기둥 접합부의 연구가 국내외로 수행되어 지지 않아 관련 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 경사기둥의 축하중에 의해 발생하는 수평력으로 인한 접합부의 영향 및 보 플랜지의 취성파괴 및 연성파괴에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 김태진(2009)의 보-기둥 접합부 실물대 실험 및 해석 결과를 바탕으로 강구조물 경사기둥 접합부에 대한 유한요소해석을 수행하였다.

* 정회원 · (주)창민우구조건설тан트 부설 기술연구소 연구원 eskim@minwoo21.com
** 정회원 · (주)창민우구조건설탄트 부설 기술연구소 연구원 jhcho@minwoo21.com
*** 정회원 · (주)창민우구조건설탄트 부설 기술연구소 본부장 tjkim@minwoo21.com
**** 정회원 · (주)창민우구조건설탄트 대표이사 jhkim@minwoo21.com

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국 건설교통기술평가원이 시행하는 2010년도 초고층복합빌딩연구개발사업단(VC)에 의해 수행되었습니다.

2. 철골 경사기둥 접합부의 유한요소해석

본 연구에서는 철골 경사기둥 접합부의 수직하중에 따른 보에 작용하는 인장응력에 의한 보 플랜지의 취성파괴와 연성파괴에 대한 저항성을 평가하기 위해서 유한요소해석을 수행했으며 이를 위해서 비선형해석이 가능한 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하였다. 유한요소해석모델의 기둥은 H-414x405x18x28, 보는 H-612x202x13x23로 단면을 설정하였고 기둥의 길이는 7000mm, 보의 길이는 기둥의 중심으로부터 보 단부까지 3818mm로 김태진 등(2009)의 기존 해석모델과 유사하게 모델링하였다. 또한 보를 중심으로 기둥 상부를 기둥의 중심축을 기준으로 약 5.7° (1/10)의 경사각을 보의 방향으로 적용하여 철골 경사기둥 접합부를 모델링하였다. 본 연구에 사용된 철골 경사기둥 접합부는 비보강 보 플랜지 웨브 용접 접합방식(WUF-W)을 사용하였기 때문에 유한요소모델링에는 용접과 볼트는 별도로 모형화하지 않고 부재의 절점을 일치시켰고 4절점 선형 감차 적분 쉘요소(S4R)와 복잡합 디테일을 표현하기 위한 3절점 쉘요소(S3)를 사용하였으며 메쉬 크기는 김태진 등(2009)과 동일한 메쉬 크기로 모델링하였고 표 1과 같이 정리하였다. 보와 기둥의 접합부분과 보 플랜지의 급격한 응력변화를 고려하여 해석모델의 메쉬를 세밀하게 구획하였으며 해석모델의 경계조건은 변위(displacement)는 U 그리고 회전(rotation)은 R로 정의하여 기둥의 상하부와 보 단부의 경계조건, 그리고 보의 횡좌굴이 발생하지 않도록 횡방향의 구속을 그림1과 같이 설정하였다. 또한 접합부에 작용하는 수직하중은 KBC2009를 이용하여 기둥단면의 최대압축력을 산출하였으며 산출값의 50%를 해석모델의 초기경계조건으로 적용하여 고정하중을 구현하였다. 해석에 사용된 강재의 탄성계수(Young's Modulus)는 205800MPa, 포아송의 비(Poisson's ratio)는 0.3을 사용하였으며 보 플랜지와 웨브의 국부좌굴을 고려하기 위하여 고유치 해석에서 구한 좌굴모드를 이용하여 초기변형을 해석모델에 도입하였고 국부좌굴에 의한 강도저하를 수치해석적으로 고려할 수 있도록 Riks 알고리즘을 채택하여 해석을 수행하였다.

표1. 유한요소해석모델 일람

Model	Connection Type	Element	Section Size (mm)	
			Beam	Column
Model JR3*	WUF-W	C3D8R	H-612x202 x13x23	H-414x405 x18x28
Model IC-V		S4R, S3		
Model IC-N				

* Model JR3 (Kim, 2009)

표2. 기둥상부 수직하중 및 보단부 수평하중 일람

Model	Force (kN)	
	Vertical Force (P_{ver})	Horizontal Force (P_{hor})
Model IC-V	3945	394.5
Model IC-N	None	None

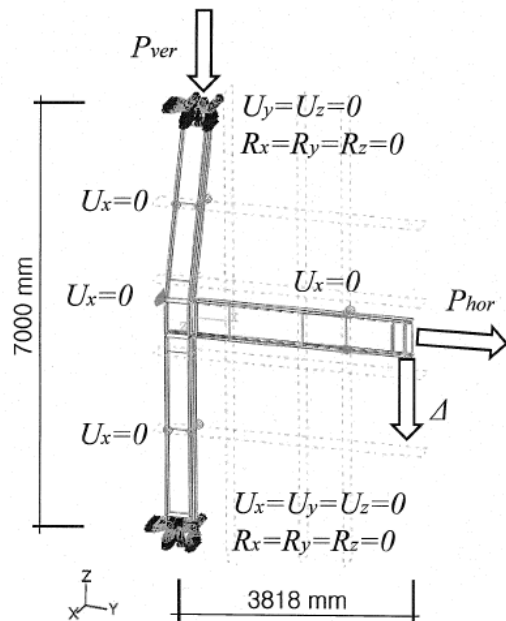


그림1. 경사기둥 접합부 해석모델 경계조건

3. 유한요소 해석결과

그림 2는 단조재하에 따른 Model IC-N과 Model IC-V의 전체거동을 비교한 그래프로서 X축은 보 단부의 변위를 변위측정위치에서 기둥의 중심선까지의 거리로 나누어 층간변위각(θ)과 Y축은 기둥면으로부터 하중 가력점까지의 거리에 작용하중을 곱하여 기둥면에서의 보의 휨모멘트(M)를 보의 실제 소성모멘트는(MPa)로 나누었으므로 정리하였다. 두 해석모델의 거동은 항복이후 미세한 차이를 났지만 전체적으로 유사한 거동을 보였다. 그림 3은 층간변위 1%일 때 Model IC-N과 Model IC-V의 보 플랜지 열영향부 응력을 비교한 그래프로서 X축은 보 플랜지의 중심을 기준으로 보축 수직방향으로의 거리와 Y축은 보 플랜지 열영향부 응력을 보(SM490)의 항복응력으로 나눈 값을 정리하였다. 층간변위 1%일 때 Model IC-N의 보 플랜지 열영향부 부근은 항복이 발생하지 않은 반면에 Model IC-V는 보 플랜지의 중심부분이 항복하였다. 또한 두 모델의 부재 항복이후 경사기둥 보 기둥 접합부의 연성 파괴에 대한 위험도를 확인하기 위하여 층간변위 2%일 때 Model IC-V와 Model IC-N의 보 플랜지 폭의 1/4 위치에서 보 축방향으로 등가소성변형률(PEEQ)을 X축은 기둥면으로부터 보의 소성힌지위치까지의 거리(mm)와 Y축은 등가소성변형률인 그래프를 그림 4와 같이 정리하였다. Model IC-N는 김태진 등(2009)의 Model JR3과 유사한 등가소성변형률을 보인 반면에 Model IC-V는 기둥 플랜지 면으로부터 보의 단부 방향 쪽으로 100mm가 떨어진 부분까지 상이한 형태의 등가소성 변형률의 곡선을 보였다. 해석결과 기둥 플랜지 면으로부터 75mm 떨어진 부분인 용접접근공 부근에서 등가 소성변형률이 큰 것을 관찰할 수 있었다.

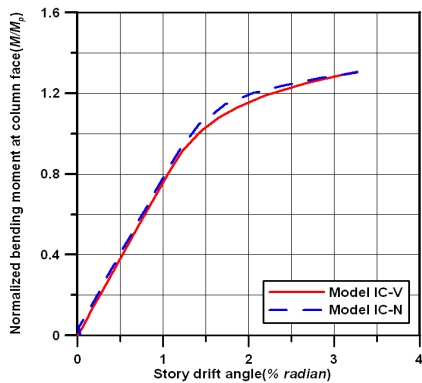


그림 2. 전체 거동 비교

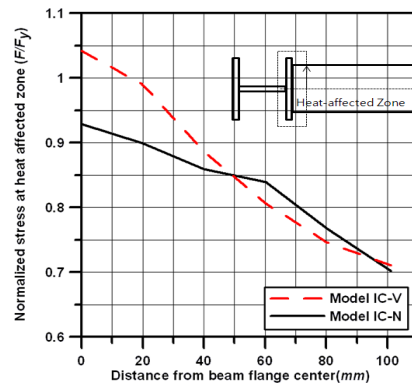


그림 3. 보 상부 플랜지 열영향부 응력, 층간변위 1%rad.

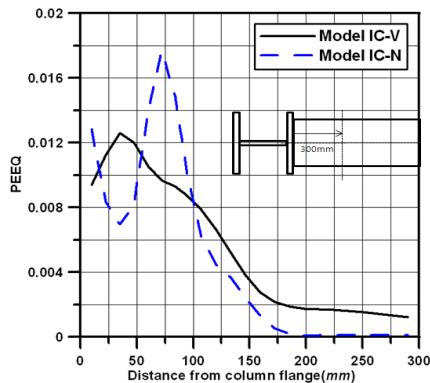


그림 4. 보 상부 플랜지 축방향 PEEQ, 층간변위 2%rad.

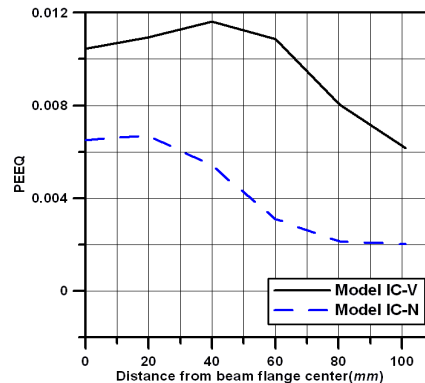


그림 5. 보 상부 플랜지 열영향부 PEEQ, 층간변위 2%rad.

그래서 기둥 플랜지 면에서 75mm 떨어진 보 플랜지 열영향부 부근의 등가소성변형률을 보 플랜지의 중심 축에서 수직방향으로 Model IC-N과 Model IC-V을 비교하여 X축은 보 플랜지의 중심을 기준으로 보축의 수직방향으로의 거리와 Y축은 등가소성변형률(PEEQ)로 그림 5와 같이 정리하였다. 보 플랜지 열영향부에서 Model IC-V의 등가소성변형률(PEEQ)이 Model IC-N의 등가소성변형률(PEEQ)보다 약 1.5배 이상 큰 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구의 유한요소해석을 이용한 수직하중에 따른 강구조물 경사기둥 접합부의 구조성능평가를 분석한 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 수직하중과 수평하중이 적용되지 않은 경사기둥 접합부(Model IC-N)와 수직하중과 수평하중이 적용된 경사기둥 접합부(Model IC-V)의 전체거동은 전체적으로 유사한 거동을 하였다.
- 2) 층간변위 1%일 때 Model IC-N의 보 플랜지 열영향부는 항복하지 않은 반면 Model IC-V의 보 플랜지 열영향부는 보 중심부분이 항복을 하였다.
- 3) 층간변위 2%일 때 Model IC-V의 용접접근공 부근에서 등가소성변형률(PEEQ)가 Model IC-N의 용접접근공의 등가소성변형률(PEEQ)보다 월등히 컸으며 이는 통하여 Model IC-V가 Model IC-N보다 연성파괴에 대한 위험도가 크다고 판단할 수 있다.

본 연구를 통해서 경사기둥이 있는 강구조물은 경사기둥의 축력에 의하여 수평부재인 보에 인장력이 발생하고 이로 인해 강구조물 경사기둥 접합부의 보 플랜지에 연성파괴에 대한 위험성이 큰 것을 확인되었다. 추 후 본 연구를 기반으로 경사기둥 접합부 실물대 실험 및 해석연구를 통하여 경사기둥 접합부의 영향평가가 수행되어져야 할 것이다.

참고문헌

- ABAQUS (2006) *ABAQUS/Standard User's Manual version 6.7*, ABAQUS, Inc., Pawtucket, Rhode Island.
- 김태진, 박종원, 조정혁, 김희동(2008) SHN 형강 보-기둥 접합부의 내진성능 평가, 한국강구조학회 논문집, 제20권, 6호 pp.829-pp.837.
- 김선희, 이성희, 김진호, 김대중, 최성모(2008) 건축구조용강재(SN490) 조립H형강 기둥-보 접합부의 이력거동에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 제20권, 6호 pp.807-pp.815.
- 이철호, 박종원(1998) 반복재하 실물대 실험에 의한 컬럼-트리(Column-Tree) 형식 철골 모멘트 접합부의 내진거동 연구, 한국강구조학회논문집, 제3권, 4호, pp.23-pp.31.
- 손상현, 이수권(2007) 초고층 건축의 설계 경향과 관련된 구조 및 시공 기술, 한국강구조학회지, 제19권, 2호 pp.14-pp.22.
- 조정혁, 김태진, 김은석(2009) SHN 형강 보-기둥 접합부의 국부응답 해석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2009-10, pp.421-pp.424.