

보-기둥 접합부를 가진 철근 콘크리트 모멘트 골조의 비탄성 회전 능력에 대한 평가

Performance Evaluation of Inelastic Rotation Capacity of Special Moment Frame Connections

이 기 학*

Lee, Kihak

ABSTRACT

This study summarizes results of a research project aimed at investigating the inelastic rotation capacity of beam-column joints of reinforced concrete moment frames. A total of 28 specimens were classified as special moment frame connections based on the design and detailing requirements in the ACI 318-99 provisions. Then, the acceptance criteria, originally defined for steel moment frame connections in the AISC-97 Seismic Provisions, were used to evaluate the joint connections of concrete moment frames. Twenty seven out of 28 test specimens that satisfy the design requirements for special moment frame structures provided sufficient strength and are ductile up to a plastic rotation of 3% without any major degradation in strength.

1. 서론

모멘트 골조 시스템은 전 세계적으로 지진 위험이 높은 곳에 널리 쓰여 왔다. 이러한 시스템은 부재의 휨 거동을 통해 지진 발생시 나타나는 수평력에 대한 저항성을 부여하고 있다. 현재의 내진설계 방식은 지진 위험에 대해 구조물을 설계할 때 중요한 응력을 받는 몇몇 부재에 대해 비탄성 변형을 허용하고 있다. 이것은 내진설계시 고려되는 지진에 대해서 구조물이 탄성적으로 반응하는 것은 실용성과 경제적인 측면에서 바람직하지 못하기 때문이다. 설계에 고려되는 지반운동에 대해서 모든 종류의 횡력 저항 시스템은 연성적으로 거동하게 하는 것은 현재 널리 쓰이고 있는 빌딩 기준집의 의도이다. 1994년 캘리포니아 노스리지 지역에서 발생한 지진은 중간 수준의 지진으로 분류됨에도 불구하고 많은 철골조 빌딩의 접합부에 파괴를 가져와 빌딩 소유주에게 심각한 경제적 손실을 입히게 되었다. 지진 위험에 노출되어 있는 구조물에 대해 피해수준을 제한하기 위한 최근의 노력 중 하나는 미국 철강건설협회(American Institute of Steel Construction, AISC)로부터 시작되었다. 1997년 "철골 빌딩의 내진 기준(Seismic Provisions for Structural Steel Buildings; 이후 AISC-97이라 칭함)"은 미국 내에서 지진지역 내에

* 세종대학교 건축공학과 조교수

위치한 철골조나 복합 철골/콘크리트 빌딩에 대한 규준을 다루고 있다¹⁾. 이 규준집은 철골조와 복합구조물의 비탄성 변형을 조절함으로써 보다 체계적이고 명확한 구조성능을 확보하는 것을 목표로 하고 있다. AISC-97 내진규준의 9.2절에는 횡력 저항 시스템의 일부인 특수 모멘트 골조의 접합부는 부록 A에서 정하는 기준에 따르는 주기실험에 적용될 때 적어도 0.03라디안의 비탄성 회전 값을 감내해야 한다고 요구하고 있다. 성능 만족의 기준은 요구되는 비탄성 회전의 최소 수준과 함께 변형이 증가함에 따라 접합부의 강도 감소에 대한 최대 비율에 제한을 두고 있다. 이 연구의 주요 목표는 철근 콘크리트 빌딩의 특수 모멘트 골조가 위에서 보여준 성능 만족에 대한 기준에서 어떻게 평가되는지 조사하기 위함이다. 이 연구의 과정으로 모든 가능한 철근 콘크리트 모멘트 골조의 실험 결과가 모아지고 분석되었다.

2. 특수 모멘트 골조의 실험 결과

이 연구에서는 ACI 318-99 규준집이 구조 실험체에 대한 특수, 중간 및 보통 모멘트 골조 분류를 위해 사용되었다²⁾. ACI 318-99 규준집의 21장에서 요구하는 조건에 따라 설계된 빌딩은 강한 지반운동에 대해 충분한 비탄성 변형 능력과 견고성 (toughness)을 가지고 있는 것으로 분류된다. 총 91개의 실험체가 이 연구에서 고려되었고 그 중 28개의 실험체가 ACI 318-99의 21장의 요구조건에 따라 특수 모멘트 골조로 분류되었다.

2.1 접합부의 전단 강도의 효과

지진 발생시 나타나는 높은 전단력과 부착-미끄럼에 대한 변형에 대해서 보-기둥 접합부는 모멘트 골조 구조물에서 중요한 부재이다. 접합부의 파괴에 따른 강도의 감소와 강성의 저하는 심각한 횡 변위의 증가와 이에 따른 구조물의 불안정성을 가져올 수 있다. 이에 따라 ACI 21장에서 볼 수 있듯이 보-기둥 접합부에 대한 현재의 내진 설계 방법은 접합부가 전단 응력에 저항하기 위해 충분한 억제력(confinement)을 부여하는데 주안점을 두고 있다. 지금까지의 실험들은 수평 단면 면적과 접합부 억제제의 정도가 보-기둥 접합부의 전단 강도에 영향을 미치는 주된 변수임을 보여 주었다.

그림 1은 28개의 실험체에 대한 접합부 전단 강도를 바탕으로 한 M/M_u 의 비율을 보여 주고 있다. 접합부의 형태적 특성에 따라(외부와 내부 접합부 그리고 횡방향 보의 존재 유무) 네 개의 다른 그래프가 접합부 전단 강도의 효과를 평가하기 위해 만들어 졌다. ACI 318-99 규준에서 접합부 전단 강도의 최대 제한 값이 접합부의 특성에 따라 그림에 선으로 나타나 있다. 예를 들어 ACI 규준집에서 최대 접합부 전단 강도가 12로 제한될 때 수평축의 12의 값에 선이 나타나 있다. 양쪽 횡 방향의 보의 존재에 따라 그림 1에 두개의 제한 값이 표시되었다. 그림의 비교를 통해 접합부의 전단강도가 증가함에 따라 빔-기둥의 접합부의 성능이 감소함을 명확히 보여 주고 있다. 그림 1의 상부 열에서 좌우 그림은 외부 빔-기둥 접합부에서 횡 방향의 보의 유무에 따른 성능을 보여 주고 있다. 횡 방향 보의 영향을 잘 보여주는 오른쪽 열의 그림은 접합부의 전단 강도가 ACI 318-99 규준에서 명시된 제한 값에 가까움에도 불구하고 좋은 성능을 보여주고 있다.

3.2 빔과 기둥의 휨 강도 비율의 효과

그림 2는 휨 강도 비율에 따른 보-기둥 접합부의 성능을 보여주고 있다. 두개의 그림이 내부와 외부 접합부에 따른 휨 강도 비율을 조사하기 위해 개발되었다. 모든 계산은 콘크리트와 철근의 실제 측정된 강도를 바탕으로 하였기 때문에 일부 실험체의 휨 강도 비율은 ACI 318-99에서 요구하는 최소 요건인 1.2보다 작다. 여기서 정모멘트에 대해 압축에서의 슬래브의 기여와 부모멘트에 대해 유효 플랜지에 위치한 슬래브의 철근이 빔의 휨 강도 계산에 고려되었다. 이는 실험된 접합부가 3%의 소성 회전까지 빔의 공칭 휨 강도보다 더 높은 휨 강도를 유지할 수 있음을 보여주고 있는 것이다.

4. 결론

1. 접합부 전단 강도에 대한 ACI 318-99의 조건을 만족하는 모든 특수 모멘트 골조는 요구되는 성능 기준을 만족하였다. 접합부의 형태적 특성에 따라 제한된 최대 전단 응력 값은 비탄성 변형에 대한 충분한 억제력을 보-기둥 접합부에 부여하는 것으로 관찰되었다. 횡 방향의 빔의 존재는 접합부의 억제력과 전단 저항력을 증가시키고 횡 방향의 빔이 존재하지 않는 접합부에 비해 더 나은 성능을 보여 주었다.
2. 예상했던 바와 같이 기둥에 대한 보의 높은 휨강도 비율은 내부 접합부에 대한 성능을 증가시켰다. 그러나 내부 접합부에서 관찰되었던 같은 효과는 외부 접합부에서는 관찰되지 않았다. 이것은 내부 접합부(2개의 기둥과 2개의 빔)의 형태적 특성과 이에 따른 요구 조건들이 휨 강도 비율이 증가함에 따라 외부 접합부에 비해 보다 나은 성능으로 나타나게 되었다.

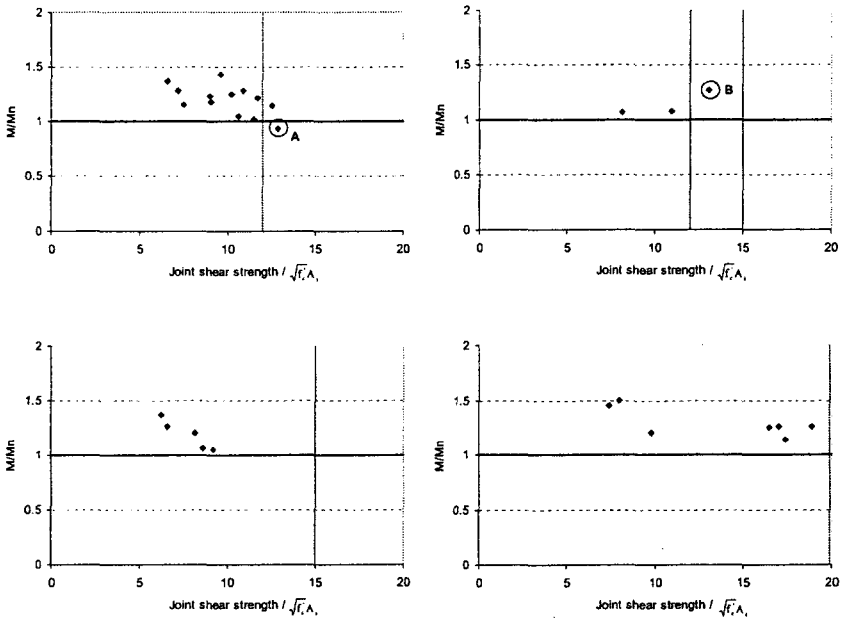


그림 1. 특수모멘트 접합부에서 전단강도에 따른 성능평가

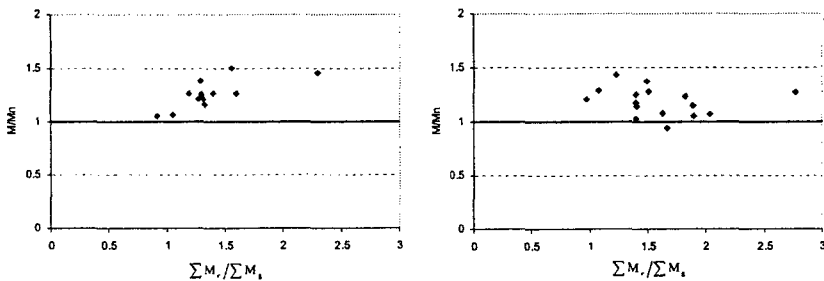


그림 2. 특수모멘트 접합부에서 기둥과 빔의 휨강도에 따른 성능평가

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R08-2003-000-11106-0)사업에 의해 이루어진 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. AISC, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL, 1997.
2. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 1983, 1999