

브라켓 및 WUF-B 형식 철골모멘트골조 약축접합부 내진성능평가

Cyclic Testing of Bracket and WUF-B Type Weak-Axis Steel Moment Connections

이강민¹⁾ · 정희택²⁾ · 윤석용³⁾ · 이은모⁴⁾ · 오경환⁵⁾

Lee, Kangmin Jeong, Hee Taek Yoon, Seok Ryong Lee, Eun Mo Oh, Kyung Hwan

요약 : 1994년 노스리지 지진 이후, 철골모멘트골조 강축방향 접합부의 내진성능 평가에 관한 연구가 국내·외에서 활발하게 진행되어온 반면, 국내 철골모멘트골조 내진설계 및 시공의 실무에 관행적으로 적용되고 있는 철골모멘트골조 약축방향 접합부의 내진성능 평가 연구가 국내는 물론 국외에서도 그 사례를 찾아보기 힘든 상황이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 내진성능 확보 여부가 확인되지 않은 상태에서 내진설계 실무에서 가장 많이 사용되고 있는 브라켓 형식 및 WUF-B 형식의 접합상세를 갖는 철골모멘트골조 약축접합부의 실험대(Full scale) 실험체를 제작 및 실험하여 이와 같은 형상의 접합부에 대한 내진성능을 평가하여 향후 이와 같은 형상을 갖는 철골모멘트골조 약축접합부의 설계를 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여, 현장조사 및 설계도서등의 기존 자료를 통해 총 2개의 실험체를 제작하여 내진성능을 평가 실험연구를 수행하였다. 실험결과로부터 최대내력 비교, 하중·변위 이력 및 용력도 등에 대한 거동을 비교·분석 하였다. 실험결과 증간변위각 5%의 BR-W 실험체가 증간변위각 4%를 갖는 WUF-B 실험체에 비해 우수한 구조적 거동을 보여주었으며, 설계 내력을 상회하는 내력을 보유하고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 브라켓 형식의 실험체는 최대내력 도달 이후 완만한 강도 저하를 나타내었으나, WUF-B 형식의 실험체는 최대내력 도달 이후 급격한 하중 저하를 나타내며 취성적인 거동을 보였다.

ABSTRACT : There has been much focus on the strong axis steel moment connections after the Northridge earthquake in 1994. However, research studies on the seismic behavior of weak axis moment connections could be hardly found despite the fact that these connection details have been frequently used as seismic details of MRF in Korea. Therefore, the objective of this research is to provide better knowledge on the seismic behavior of weak-axis steel moment connections, which can be widely applicable to many structures with similar characteristics. For this purpose, an experimental program was designed and performed with two types of weak-axis steel moment connections, namely the bracket type and WUF-B type, based on the survey of existing field data and literatures. Using the experimental results obtained from the quasi-static cyclic testing of these specimens, structural performances of the joints such as hysteretic curves, maximum strength capacities and the strain of reinforced bars were investigated. From the test results, the bracket-type connection was shown to have more than a 5% story drift capacity, compared with the WUF-B type connection's 4%. These specimens were also shown to have higher strength capacities than the nominal design strength. The bracket-type connection showed a slow strength degradation after maximum strength was researched. However, the WUF-B type connection showed a rapid strength degradation that caused brittle behavior.

핵심용어 : 철골모멘트골조, 약축접합부, 반복재하실험, 내진성능평가, 증간변위각

KEYWORD : moment resisting frame, weak-axis steel moment connection, cyclic testing, seismic evaluation, story drift ratio

1. 서론

철골모멘트골조는 연성능력이 우수한 구조시스템으로 지진 위험도가 높은 지역에서 많이 사용되어 왔지만 1994년 노스리지 지진에서 이 골조시스템을 사용한 접합부가 만족스러운

거동을 보여주지 못한 것으로 밝혀져 미국에서는 연방정부의 지원 하에 새로운 내진철골 접합부 개발의 필요성을 인식하고 강축방향 모멘트 접합부 상세에 관한 내진성능 평가연구를 기초로 인증접합부를 제안하였다(FEMA-350, 2000).

한편 국내에서도 최근 지진발생 빈도가 증가하고 내진설계

1) 교신저자, 정희원, 충남대학교 건축학부 조교수, 공학박사
(Tel. 042-821-5625, Fax. 042-823-9467, E-mail : leekm@cnu.ac.kr)
2) 정희원, 도시구조안전(주) 엔지니어, 공학석사(setaro1@lycos.co.kr)
3) 학생회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정(qnqk@nate.com)
4) 학생회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정(balmy2000@nate.com)
5) 정희원, 삼성물산(주) 건설부문, 충남대학교 박사과정(ohkh@samsung.com)

본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

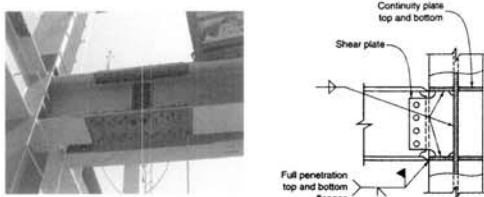
의 필요성에 대한 인식의 확산과 함께 철골모멘트골조 강축방향 접합부의 내진성능 평가에 관한 연구가 최근 연구자들의 주요 관심사가 되었으며 대체로 많은 연구결과가 축적되어 왔다(박종원 등, 2007; 이철호 등, 2006; 이철호 등, 1998).

하지만, 이러한 국내의 연구들은 대부분 철골모멘트골조 H형강 기둥의 강축방향 접합부의 내진성능 평가에 관한 연구에 집중되어 있는데, 이는 미국의 경우 약축방향 모멘트 접합부를 현장에 적용하는 사례가 거의 없어 이에 대한 연구가 거의 없는 실정이다. 하지만 국내의 경우는 철골모멘트골조를 내진설계에 적용함에 있어서 강축방향뿐만 아니라 약축방향에도 적용하고 있는데, 약축방향 접합부의 경우 내진성능 확보 여부가 명확하게 규명되지 않은 상태에서 실무적으로 적용되고 있는 상황이어서, 철골모멘트골조 약축방향 접합부의 내진성능 평가와 관련한 연구가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 현장에서 가장 많이 적용되고 있는 철골모멘트골조 약축접합 방법인 브라켓형식과 용접비보강 플랜지-볼트웹(Welded Unreinforced Flange-Bolted Web, 이하 WUF-B) 형식에 대해 실물대(Full scale) 실험을 통한 내진성능 평가 연구를 수행함으로써 향후 이러한 접합부 형상을 갖는 철골모멘트골조를 내진설계에 적용할 수 있는 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 국내 현장 및 연구자료의 고찰

국내 현장조사 및 설계도서 등에 대한 기존의 자료조사 결과, 그림 1의 브라켓 형식과 WUF-B 형식 철골모멘트골조 약축방향 접합방식이 내진상세로서 현장에서 빈번하게 사용되고 있음을 알 수 있다. 하지만 국내에서는 철골조 약축접합부의 중력하중에 대한 구조성능 평가에 관한 연구는 일부 연구자들에 의해 일부 진행되었으나(김상섭 등, 2004a; 김상섭 등, 2004b; 박종원 등, 2007), 국내에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 브라켓 형식이나 WUF-B 형식 철골모멘트골조 약축방향 접합부에 대한 내진성능 평가에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다.



(a) 브라켓 형식 (b) WUF-B 형식
 그림 1. 현행 국내 철골모멘트골조 약축방향 접합방식

또한, 국내 철골조 내진설계 기준의 근간이 되고 있는 American Institute Steel Construction(이하 AISC)의 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (2005, 이하 Provisions)에도 미국 내 현장에서 약축방향 철골모멘트골조를 거의 사용한 실례가 없다는 이유로 이에 대한 상세 및 설계법을 제안하고 있지 않고 관련 연구결과도 거의 찾아볼 수 없으며, 일부 연구자에 의해 최근에 수행된 연구결과 또한 기존 강축방향 철골모멘트골조의 접합상세에 적용된 RBS(Reduced Beam Section) 형식의 접합상세를 약축방향 접합부에 적용하고 반복하중 하에서 실험을 수행한 연구(Gilton과 Uang, 2002)에 한정되어 있는 상황이다.

따라서, 내진성능의 확보 여부가 확인되지 않은 상태에서 현재 국내의 현장에서 관행적으로 사용하고 있는 철골모멘트골조 브라켓 형식 및 WUF-B 형식의 접합부 상세에 관한 내진성능 평가에 관한 연구가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 철골모멘트골조 약축접합부의 내진상세 개발 및 설계법 제시를 위한 기초 자료 제공을 목적으로 우선, 현재 국내 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 접합 형식인 브라켓 형식과 WUF-B 형식 접합부에 대한 내진성능을 실험을 통하여 평가하고자 한다.

3. 실험계획

2장의 기존연구와 FEMA(FEMA-350, 2000)의 강축방향 인중접합부를 기초로 철골모멘트골조 약축방향 접합부에 대한 구조성능을 평가하기 위해 현행 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 브라켓 접합방식인 BR-W 실험체와 WUF-B 실험체에 대해 실물대(Full scale) 크기의 실험체를 계획하였으며 이를 표 1에 정리하였다.

표 1. 실험체 일람표

실험체명	접합부 형식	사용부재
BR-W	Bracket 형식	기둥 SM490 H-400×400×13×21
WUF-B	Welded Unreinforced Flange-Bolted Web	보 SS400 H-600×200×11×17

3.1 실험체 설계

실험체 기둥부재는 압연형강 H-400×400×13×21 (SM490), 보 부재는 압연형강 H-600×200×11×17 (SS400)을 사용하였으며, 고력볼트는 M22 T/S볼트를 사용하였으며 강한 기둥-약한 보로 설계하였다.

일반적으로 지진 발생 시 골조의 연약층(Soft-story) 붕괴를 방지하기 위하여 철골모멘트골조 시스템에서는 강한 기둥-약한 보의 개념을 도입하게 되는데 본 연구의 실험체 설계 시, 식(1)의 조건을 만족하도록 계획하였다.

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} \geq 1.0 \quad (1)$$

여기서, $\sum M_{pc}^*$ = 보와 기둥 중심선의 교점에서 조인트 상부와 하부 기둥모멘트들의 합이고, $\sum M_{pb}^*$ = 보와 기둥 중심선의 교점에서 보에서의 모멘트의 합이다.

기타의 실험체 조건은 AISC Provisions(AISC, 2005) 부록 S의 요구사항을 만족하도록 설계하였다.

3.1.1 브라켓 실험체

브라켓 형식의 접합상세를 갖는 BR-W실험체는 그림 2와 같이 H형강 기둥의 약축방향에 설치된 수평스티프너에 공장 용접을 통해 브라켓 보를 기둥에 접합하고 현장에서 고력볼트를 사용하여 보 이음을 하는 형식의 실험체이다.

기둥의 수평스티프너와 브라켓을 접합하는 용접접합은 미국 용접협회(AWS, 2006)의 기준을 근거로 완전용입용접(Complete Joint Penetration, CJP)으로 설계하였으며, 브라켓과 보를 이음하는 볼트접합은 보로부터 전달되는 모멘트를 충분히 전달할 수 있도록 T/S볼트를 사용하였으며, 표 2에 볼트 이음부의 공칭강도를 나타내었다.

표 2. 브라켓 접합부 볼트 이음부의 공칭강도

	미끄럼강도	지압강도	볼트파단	블록전단
강도 (kN)	7356.8	359	172.9	841.76

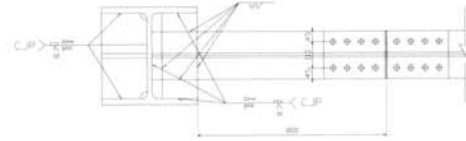
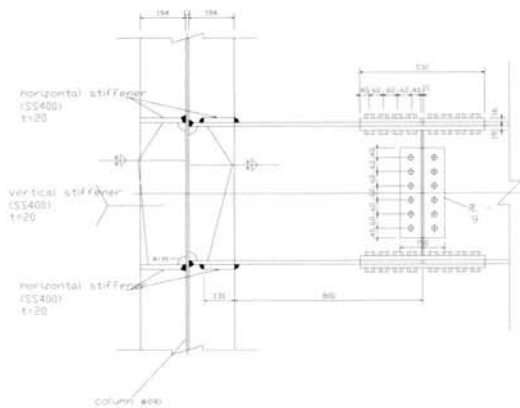


그림 2. BR-W 실험체 상세

3.1.2 WUF-B 실험체

현행 WUF-B 형식 접합부는 1994년 노스리지 지진 이전의 용접을 포함한 접합 상세를 갖는 형식으로 설계하고 있다. 실험체는 그림 3과 같이 수평스티프너에 보의 상·하부 플랜지를 미국용접협회(AWS, 2006)의 기준에 따라 완전용입용접하고 뒷댐재(backing bar)를 제거하지 않은 전형적인 노스리지 지진 이전의 접합상세를 갖도록 설계한 실험체이다.

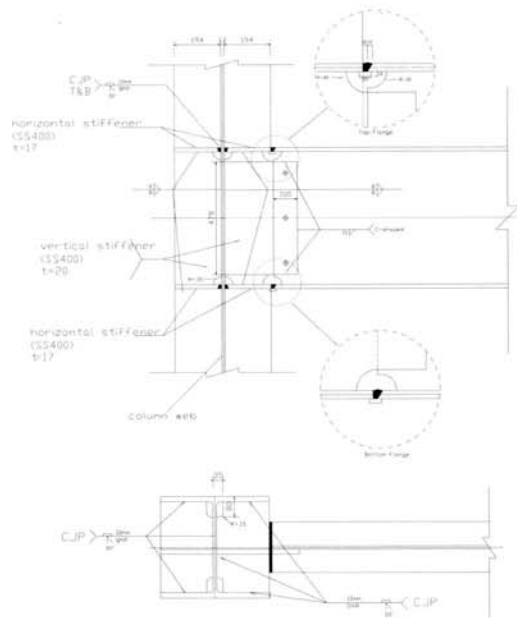


그림 3. WUF-B 실험체 상세

3.2 측정 및 가력계획

실험 중 가력방법은 그림 4와 같이 AISC Provisions (AISC 2005) 부록 S(보-기둥 접합부와 링크-기둥 접합부의 반복 인장실험)의 반복가력을 계획하였다.

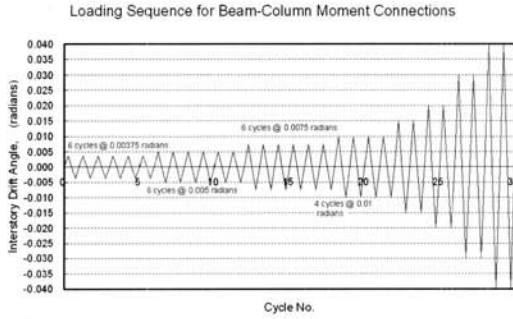


그림 4. 가력하중이력도

3.3 실험체 설치 및 실험

실험체의 설치에 그림 5와 같이 기둥을 반력슬래브에 고정하고 보의 단부를 500kN 용량의 액츄에이터로 가력하도록 하였다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 보의 상부에는 보의 양측에 면의 방향의 변위를 막기 위한 가이드프레임(Guide Frame)을 설치하였다.

실험 중 반복하중을 받는 철골모멘트골조 약축방향 접합부의 구조적 거동, 즉 변위를 파악하기 위하여 그림 5와 같이 가력 위치에 LVDT를 설치하였으며, 실험체 각 부위의 미세 거동을 관찰하기 위해 보의 상·하부 플랜지에 각 9개씩, 보의 웹 앞뒤에 각 2개씩, 총 30개의 스트레인게이지를 그림 6과 같이 설치하였다.

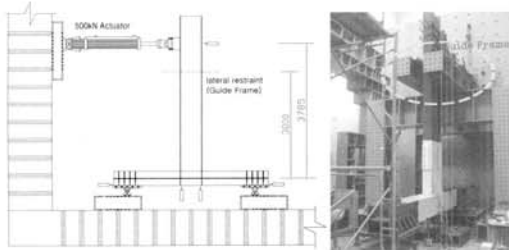


그림 5. 실험체 설치 및 LVDT 설치위치도

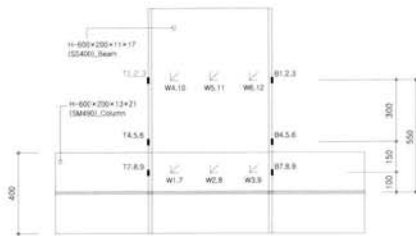


그림 6. 스트레인게이지 부착위치도

실험체 및 게이지 설치 이후, 실험체 접합부 부근에서의 항복 및 항복 이후 소성화 과정을 육안으로 확인하기 위하여 접합부 주변에 그림 5와 같이 석회칠(white wash)을 하였다.

실험의 제어는 하중가력점에서의 변위에 의한 변위제어방식으로 진행하였다. 실험은 실험체의 파괴, 액츄에이터 변위의 한계, 또는 최대내력 도달 이후 최대하중의 75%(AISC, 2005)까지 하중이 감소한 경우 종료하는 것으로 하였다.

4. 실험결과

4.1 재료시험

본 연구의 실험에 사용된 H형강의 기계적 특성을 파악하기 위하여, 실험이 종료된 후 각 실험체의 웹과 플랜지에서 각각 3개씩, 총 12개의 인장 시험편을 채취하여 KS B 0801에 따라 14B호 시험편으로 제작하여 인장시험을 실시하였다. 표 3은 인장시험 결과를 정리한 것이다.

표 3에서와 같이 재료시험 결과, 본 연구에서 사용된 모든 시험편은 KS에서 규정한 기계적 성질을 만족하는 것으로 나타났다. 실험체의 기둥에 사용한 H-400x400x13x21 (SM490) 형강 웹의 항복강도는 KS 규준값 보다 약 1.2배 이상, 플랜지의 항복강도는 약 1.3배 정도에 달하는 것으로 조사되었다. 또한, 실험체의 보에 사용한 H-600x200x11x17(SS400) 형강 웹의 항복강도는 KS 규준값 보다 약 1.3배 이상, 플랜지의 항복강도는 약 1.2배 이상 더 높게 나타났다.

본 연구의 실험결과를 분석함에 있어서 상기의 재료시험 결과를 사용하였다.

표 3. 인장시험 결과

부재	위치	강종	항복강도/기준 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복비
H-400x400x13x21	web 13t	SM490	398.4/325	559.7	0.71
	flange 21t	SM490	407.9/315	571.4	0.71
H-600x200x11x17	web 11t	SS400	336.3/245	470.5	0.71
	flange 17t	SS400	292.3/235	455.8	0.64

4.2 하중-변위 곡선 및 파괴양상

4.2.1 BR-W 실험체

그림 7은 BR-W 실험체의 실험결과로부터의 하중-변위곡선을 나타내고 있다.

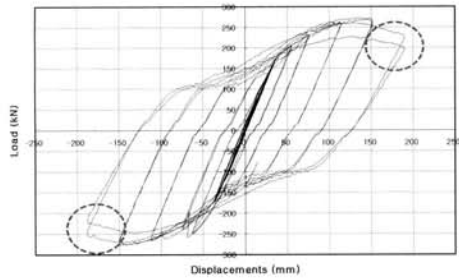
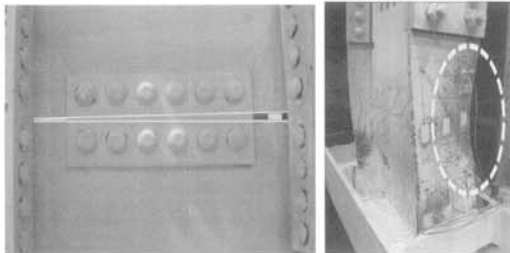


그림 7. BR-W 실험체의 하중-변위 곡선

본 실험체는 제어변위 75.7mm(충간변위 2%)에서 그림 8(a)에서와 같이 볼트의 미끄러짐에 의한 브라켓과 보의 이음부 상·하부 플랜지 간의 비대칭 벌어짐이 발생하였고, 이후 이러한 비대칭이 점차 커졌으며, 제어변위 151.4mm(충간변위 4%)에서는 그림 8(b)와 같이 보의 하부 플랜지에 좌굴이 발생하며 상기의 비대칭 벌어짐이 다소 줄어들었다. 실험체의 최대하중은 그림 7에서와 같이 제어변위 151.4mm(충간변위 4%)에서 관찰되었다. 제어변위 189.25mm(충간변위 5%)에서는 그림 9와 같이 보의 상부 플랜지에서도 좌굴이 발생하며 하중이 감소하였고 이후, 실험체의 내력이 최대내력의 75% 이하로 감소하여 실험을 종료하였다.



(a) 볼트의 슬립 (충간변위 2%) (b) 보 하부 플랜지 좌굴 (충간변위 4%)

그림 8. BR-W 실험체의 파괴형상

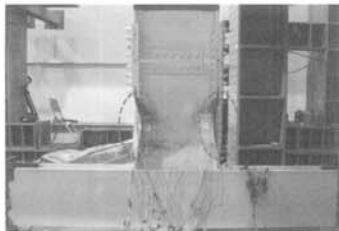


그림 9. BR-W 실험체 보 플랜지의 극부좌굴 (충간변위 5%)

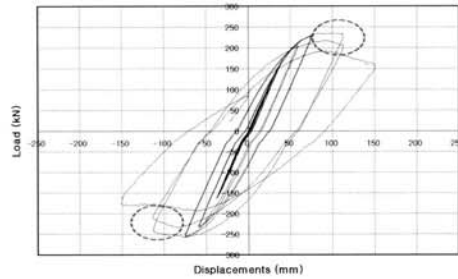
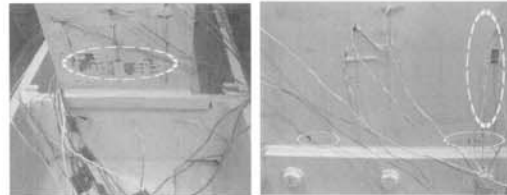


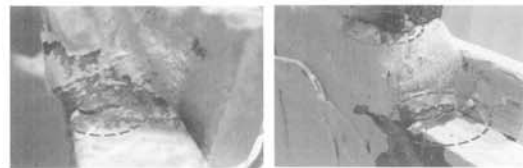
그림 10. WUF-B 실험체의 하중-변위 곡선

본 실험체는 제어변위 59.7mm(충간변위 1.5%)에서 그림 11(a)와 같이 보의 하부 플랜지에서 항복이 시작되었고, 제어변위 75.7mm(충간변위 2%)에서는 보의 상부 플랜지에서도 항복이 관찰되었다. 제어변위 113mm(충간변위 3%)에서는 그림 11(b)와 같이 보 웨브의 항복도 관찰되었으며, 이후 보의 하부 플랜지 용접부에서 그림 12(a)와 같이 균열이 발생하며 내력이 감소하기 시작하였다. 실험체의 최대내력은 그림 10에서와 같이 제어변위 113mm(충간변위 3%)에서 관찰되었다. 제어변위 151.4(충간변위 4%)에서는 그림 12(b)와 같이 보 상부 플랜지 용접부의 균열이 커지며 하중의 급격한 감소의 결과를 초래하였으며, 이후 하중이 최대내력의 75% 이하로 감소하여 실험을 종료하였다.



(a) 보 하부 플랜지 항복 (충간변위 1.5%) (b) 보 웨브 항복 (충간변위 3%)

그림 11. WUF-B 실험체의 파괴형상



(a) 보 하부 플랜지 용접부 균열 (충간변위 3.0%) (b) 보 하부 플랜지 용접부 균열 (충간변위 4.0%)

그림 12. WUF-B 실험체 보 상·하부 플랜지의 용접부 균열

5. 실험결과와 분석 및 고찰

본 장에서는 브라켓 형식 및 WUF-B 형식 철골모멘트골조 약축방향 접합부에 대한 반복가력 실험으로부터의 실험결과를 층간변위각과 소성회전능력으로 구분하여 접합부의 반복가력 하에서의 이력 및 최대 내력 이후의 하중 저하 등에 대한 일반적인 반복 거동 특성을 비교하였다.

실험결과로부터의 각 접합부 실험체의 층간변위각을 측정할 수 있는 층간변위비(δ_i)는 그림 13에 나타낸 보 단부의 변위(Δ)를 기둥중심에서 가력중심까지의 거리(L_{cb})로 나눈 값의 백분율로 다음과 같이 나타내었다.

$$\delta_i = \frac{\Delta}{L_{cb}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서, Δ 는 보 단부의 변위(mm)이고 L_{cb} 는 기둥 중심에서 보 가력점까지의 길이(mm)를 각각 나타낸다.

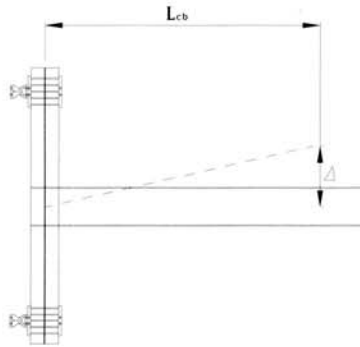


그림 13. 층간변위각을 측정하기 위한 변수

또한 각 접합부 형상을 갖는 실험체의 소성회전능력(θ_p)은 접합부의 소성변위능력을 평가할 수 있는 기본적인 물량으로 다음과 같이 정의한다.

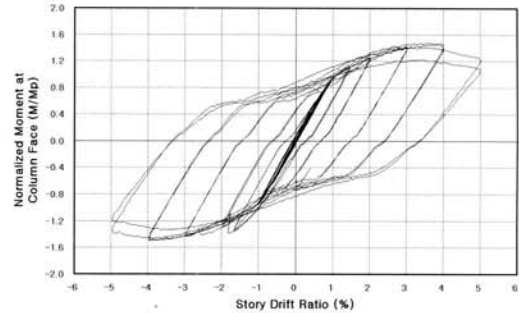
$$\theta_p = \frac{\Delta - P/K_i}{L_{cb}} \times 100 (\text{rad}) \quad (3)$$

여기서, P 는 실험체에 가해진 하중(kN)이고 K_i 는 각 실험체의 초기강성을 각각 나타내며, 보 단부의 변위(Δ)를 기둥 외주면에서 가력중심까지의 거리(L_{cb})로 나눈 값을 rad으로 나타내었다.

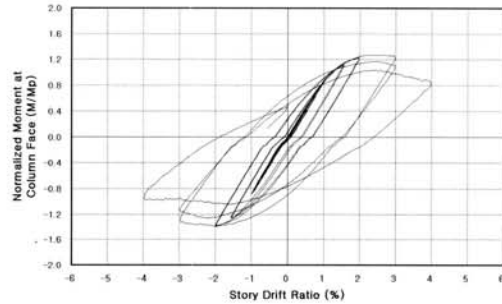
또한, 실험결과로부터의 하중은 기둥 외주면에서의 모멘트

로 치환하였고, 서로 다른 설계 조건을 갖는 실험체를 상호 비교하기 위하여 이 모멘트를 보 단면의 공칭소성모멘트로 나누어 무차원 하였다.

상기와 같은 절차에 따른 각 실험체의 무차원화된 층간변위각(story drift ratio)과 소성회전능력(total plastic rotation)을 그림 14와 15에 각각 실험체별로 나타내었다.

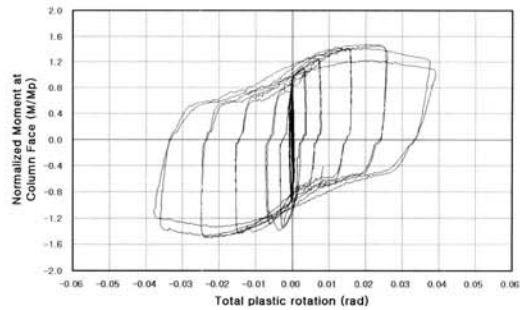


(a) BR-W 실험체 층간변위각

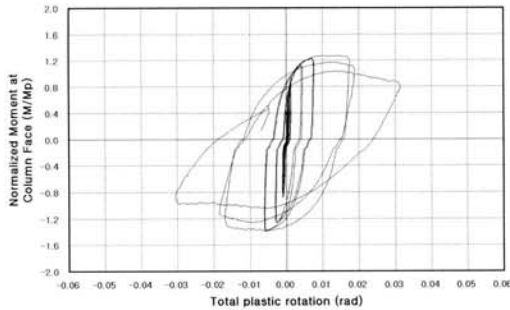


(b) WUF-B 실험체 층간변위각

그림 14. BR-W실험체 및 WUF-B실험체 층간변위각



(a) BR-W 실험체 소성회전능력



(b) WUF-B 실험체 소성회전능력
그림 15. BR-W 실험체 및 WUF-B 실험체 소성회전능력

5.1 접합부 내진성능 평가

AISC(2005) 내진규정은 내진설계에 사용된 반응수정계수 R값을 기준으로, 특수모멘트골조(SMF, Special Moment Frame, R=8), 중간모멘트골조(IMF, Intermediate Moment Frame, R=6), 보통모멘트골조(OMF, Ordinary Moment Frame, R=4)에 대하여 각각 최소 0.03, 0.02, 0.01라디안의 접합부 소성회전각을 확보할 것을 요구하고 있다.

SAC(2000)의 경우는 좀더 엄격하여 SMF, IMF를 구분치 않고 양자 모두 0.04라디안의 접합부 총회전각을 확보할 것을 요구하고 있다. SAC(2000)의 경우 접합부의 탄성회전각이 대략 0.01라디안 내외임을 감안하고 소성회전각 대신 총회전각을 사용한다. SAC(2000)의 의사정적 반복하중 내진성능실험을 통해 특수모멘트골조(SMF)의 접합부로서 인정되기 위해서는, 4% 층간변위수준(또는 0.03라디안 소성회전각 수준)을 적어도 1사이클 저항할 수 있어야 하고 동시에 강도가 (RBS 도입 이전)원래 보 단면의 공칭소성모멘트의 80%이하로 저하되어서는 안되는 것으로 규정하고 있다.

실험결과 현재 국내 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 브라켓 형식의 BR-W 실험체는 그림 14와 같이 4% 층간변위수준(또는 0.03라디안 소성회전각 수준)을 적어도 1사이클 저항할 수 있어야 하는 특수모멘트골조에 필요한 내진성능 이상을 보유하고 있음을 알 수 있다.

그러나 1994년 노스리지 지진 이후 미국에서 사용이 금지되었지만, 브라켓 형식의 BR-W 실험체와 함께 가장 대표적으로 사용되고 있는 WUF-B 형식의 실험체는 그림 15에서 보는 바와 같이 층간변위 3%에서 보 상부 플랜지 용접부 균열의 발생으로 인하여 특수모멘트 골조에 필요한 내진성능을 발휘하지 못하였고, 층간변위각 2%를 갖는 중간모멘트골조(IMF) 요구조건을 만족 시키는 것으로 확인되었다.

5.2 층간변위각 비교

이 절에서는 서로 다른 설계 조건을 갖는 실험체의 층간변위를 상호 비교하기 위하여, 이들 실험체의 각 사이클별 최대 점을 연결해 무차원화 시킨 층간변위각 추세 및 층간변위각 비교를 그림 16과 17에 각각 나타내었다.

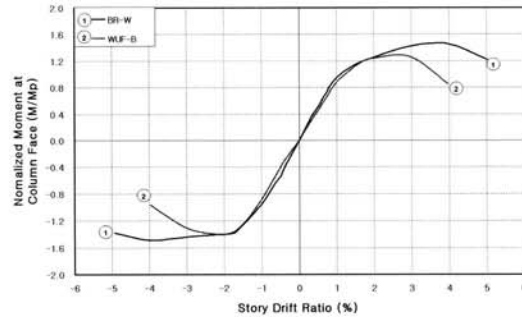


그림 16. 실험체별 층간변위각 추세

그림 16 및 17에서 보는 바와 같이 브라켓 형식 접합부를 갖는 BR-W 실험체의 총층간변위각이 노스리지지진 이전 용접 접합 상세를 갖는 WUF-B 실험체에 비해 약 25% 이상의 변위능력을 보유하고 있음을 알 수 있고, 최대내력 이후의 강도저하 현상도 BR-W 실험체가 WUF-B 실험체에 비해 상당히 완만하여 보다 연성적인 거동을 보여줌을 알 수 있다.

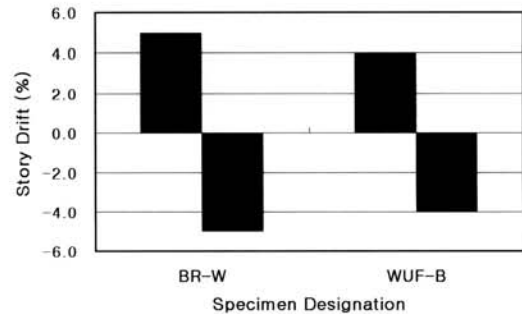


그림 17. 실험체별 층간변위각 비교

이는 브라켓 형식 접합부를 갖는 BR-W 실험체는 기둥과 보가 만나는 접합면이 아닌 접합면에서 어느 정도 떨어진 브라켓과 보가 만나는 이음부가 반복가력으로부터의 많은 변위를 흡수하여 이 부분이 마치 'fuse element'로서의 역할을 하는 거동을 보여주기 때문으로 사료된다. 이는 기존의 관련 연구로부터 제시된 RBS(Reduced Beam Section) 방식의 철골모멘트골조 강축접합부의 거동과 유사하게 접합면에서

소성변형을 흡수하는 것이 아니라, 접합면에서 일정거리 떨어진 지점에서 소성변형이 유도되었기 때문에 사료된다. 반면, WUF-B 실험체는 노스리지 지진 이전의 용접상세를 갖는 접합부의 문제점으로 제기되었던 용접부 결함에 의한 용접부 조기 균열 및 파괴가 이러한 접합부를 갖는 실험체의 연성능력을 저하시키는 문제점을 안고 있는 것으로 사료된다.

6. 결론

이상과 같이 현행 국내에서 가장 많이 사용되는 브라켓 형식 및 WUF-B 형상의 철골모멘트골조 접합상세에 대한 내진성능 평가를 위한 실험 연구 결과 다음과 같은 결론을 유추할 수 있었다.

- (1) 브라켓 형식 접합부를 갖는 BR-W 실험체는 층간변위 5%에서 보 플랜지에 좌굴이 발생하며 완만한 강도저하를 보여주어 특수모멘트골조(SMF)의 접합부에 요구하는 4% 층간변위각 도달시 기둥면 접합부 휨강도가 보의 공칭소성모멘트의 80% 이상을 발휘하는 내진성능을 충분히 보여주었다. 하지만 브라켓과 보의 이음부에서의 볼트 미끄러짐에 의한 변형 특성은 향후 추가 실험과 해석적 연구를 통한 추가의 연구가 필요할 것으로 사료된다.
- (2) WUF-B 형식 접합부 실험체는 층간변위 3%에서 보 하부 플랜지 용접부에 균열이 발생하며 내력이 감소하기 시작해 층간변위각 2%의 요구조건을 만족시키는 중간모멘트골조(IMF)의 요구성능을 발휘하는 것을 확인할 수 있었다. 이 실험체의 파괴는 보 플랜지 용접부의 균열이 커지며 하중의 급격한 감소의 결과를 초래하였다. 본 연구의 실험결과를 시험체의 개수가 충분치 않고 제한된 실험조건에서 얻어진 결과이므로, 보 플랜지 용접부의 균열 특성은 추후의 연구를 통하여 검증이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단(KRF-2006-003-D00628)의 지원 및 (주)현대제철의 강제 지원으로 수행된 연구이고, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김상섭, 이도형, 함정태, 김규석 (2004) H형강 기둥의 약축에 대한 기둥-보 접합상세 개발 및 내력평가, *한국강구조학회 논문집*, Vol.16, No.1, pp.169~180.
- 김상섭, 이도형, 함정태 (2004) 약축 접합부 형식에 따른 강축 접합부의 구조적 거동, *한국강구조학회논문집*, Vol.16, No.2, pp.275~284.
- 박종원, 강승민, 오용준 (2007) 약축 보-기둥 접합부의 경제성에 관한 연구, *한국강구조학회논문집*, Vol.19, No.6, pp.663~670.
- 이철호, 김재훈, 전상우, 김진호 (2006) 보 플랜지 절취형(RBS) 철골 모멘트 접합부의 균형 패널존 강도, *한국강구조학회논문집*, Vol.18, No.1, pp.59~69.
- 이철호, 박종원 (1998) 반복재하 실험에 의한 컬럼-트리(Column-Tree)형식 철골 모멘트 접합부의 내진거동 연구, *한국강구조학회논문집*, Vol.10, No.4, pp.629~639.
- AISC, 2005, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, Chicago, IL.
- ANSI/AWS D1.1-00, *Structural Welding Code-Steel*, American Welding Society, Miami, FL, 2006.
- Chad, S. Gilton., Chia-Ming. Uang (2002) Cyclic Response and Design Recommendations of Weak-axis Reduced Beam Section Moment Connections, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 128(4), pp.452~463.
- FEMA. Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings: FEMA-350, SAC Joint Venture, Richmond, Calif, 2000.
- RCSC. 2004 Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts: LRFD, AISC.
- Rentschler, G. P., Chen, W. F, and Driscoll, G. C (1980) Tests of Beam-to-Column Web Moment Connections, *Journal of the Structural Division*, ASCE, 106(ST5), pp.1005~1022.
- Uang, C. M., Bondad, D., and Lee, C. H. (1998) Cycle performance of haunch repaired steel Moment Connections: experimental testing and analytical modeling, *Engineering Structures*, Vol.20, No.4-6, pp.552~561.

부록. SYMBOLS

- A_g : 기둥의 전 단면적
 F_{yc} : 기둥의 공칭항복강도
 P_{uc} : 소요 기둥압축강도 (양수)

Z_b : 보의 소성단면계수
 Z_c : 기둥의 소성단면계수
 z_b : 감소된 보단면에서의 최소 소성 단면계수
 M_v : 기둥의 휨모멘트

R_v : 기둥의 지점 반력

(접수일자 : 2008. 4. 29 / 심사일 2008. 6. 2 /
게재확정일 2008. 7. 2)