

# 부분용입용접 내진기둥 이음부의 강도평가

## Experimental Evaluation of Seismic Column Splice with Partial Joint Penetration Welds

이 철 호<sup>1)</sup> · 김 재 훈<sup>2)</sup> · 김 정 재<sup>3)</sup> · 오 상 훈<sup>4)</sup>  
*Lee, Cheol Ho Kim, Jae Hoon Kim, Jung Jae Oh, Sang Hoon*

**요약** : 본 연구에서는 기존 SM490강재와 국내에서 최근 개발된 내진용강재(SHN490, SN490)로 이루어진 특수모멘트골조의 기둥이음부를 부분용입용접으로 설계하여 내진성능평가를 위한 실물대 실험을 실시하였다. 부분용입용접에 의한 기둥이음부는 용접비용 및 공기의 절감에서 매력적인 방안이다. 그러나 과거에 외국에서 수행된 몇몇 실험결과에 의하면 부분용입용접에 의한 후판기둥의 이음부는 인장응력에 대해 취성파단하는 거동을 보였다. 이런 이유로 인해 최근의 내진설계기준에서는 특수모멘트골조의 부분용입용접 기둥이음부의 강도는 예상 기둥소성모멘트 이상의 강도를 요구한다. 이를 반영하여 시험체의 부분용입용접 이음부의 설계강도는 AISC-LRFD의 기준식을 적용하여 기둥의 예상 소성모멘트 이상이 되도록 설계 및 제작하고 3등분점 하중으로 단조가력하였다. 압연형강 시험체 2개 및 조립형강 시험체 2개(총 4개 시험체)의 이음부 모두에서 기둥의 실제 소성모멘트 이상의 강도를 발휘하였다. 즉 AISC-LRFD의 부분용입용접 설계강도식의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 다만 SM490 압연형강 시험체는 기둥의 소성모멘트를 발휘한 후 이음부에서 급격한 취성파단이 발생하였다. 이는 용접결합과 플랜지의 강도미달에 따른 복합적 원인에 의한 것으로 추정된다. 특히 SM490 강재의 경우는 항복강도와 인장강도가 규정치에 미달하는 등 성능편차가 큰 것으로 나타났다. 제한적 실험결과이긴 하지만 소재물성 및 이음부 거동의 측면 모두에서 내진용 신강재가 기존강재에 비해 전체적으로 우수함을 보여준 결과라 할 수 있다.

**ABSTRACT** : The seismic performance of a column splice fabricated with PJP (partial joint penetration) welds for special moment frames was experimentally evaluated in this study. The steel materials that were used for the specimens included SHN490 and SN490 steel, or the newly developed structural steel for seismic application. Fabricating the column splice with PJP welds is highly attractive from the perspective of reducing the welding cost and the construction time. PJP welds in column splices are viewed apprehensively, however, because several tests have shown that PJP welds in thick members tend to become brittle under tensile loads. The column splices in this testing program were designed for the expected plastic moment of the column that current seismic codes typically require. The design strength of partial-penetration welded joints was determined according to the 2005 AISC-LRFD Specification. Three-point loading was applied monotonically, using a universal testing machine, such that the column splice joints were subjected to pure tension. The test results showed that the PJP welded splices, if designed properly, can develop a strength exceeding that of the actual plastic moment of the column. The specimen made of the SM490 rolled section, however, showed a brittle fracture at the splice soon after achieving the actual plastic moment of the column. The tensile coupon test results also showed that the material properties of SM490 steel are more unpredictable. Overall, although the test data are limited, the SHN490 and SN490 steel specimens showed a superior and reliable performance.

**핵심용어** : 변곡점, 부분용입용접, 내진기둥 이음부, 내진성능

**KEYWORDS** : Inflection Point, Partial Joint Penetration (PJP) Weld, Seismic Column Splice, Seismic Performance

### 1. 실험연구배경 및 목적

내진설계에 있어서 기둥 변곡점의 위치는 탄성해석을 토대

로 통상 기둥의 중간 높이 부근으로 가정한다. 그렇지만 지진 내습시 골조가 항복하여 모멘트 재분배가 발생하면 실제 변곡점의 위치는 이 가정과 상당히 다를 수 있다.<sup>5)</sup>이 가능

1) 교신저자, 서울대학교 공과대학 건축학과 교수, 공학박사  
(tel. 02-880-8735, E-mail : ceholee@snu.ac.kr)

2) 서울대학교 공과대학 건축학과, 박사과정

3) 서울대학교 공과대학 건축학과, 박사과정(kitchen0@snu.ac.kr)

4) 부산대학교 건축학과 교수, 공학박사(osh@pusan.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2009년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

성을 고려하여 기둥 이음부는 충분한 강도를 지니도록 설계해야 한다. 기둥 이음부의 파괴는 곧 골조 전체의 붕괴로 이어질 수 있기 때문이다.

과거 미국에서 수행된 몇몇 실험결과에 의할 것 같으면 부분용입용접에 의한 후판 기둥의 이음부는 인장응력에 대해 취성파괴가 발생하는 거동을 보였다.(Popov-Stephen 1977, Bruneau 등, 1987, Bruneau-Mahin 1991). 이런 우려 때문에 국내의 강구조내진기준안(2007), AISC 내진기준(2005)에서는 중간모멘트골조 및 보통모멘트골조의 부분용입용접 기둥이음부의 설계강도는 예상 기둥플랜지 항복강도의 50% 이상을 확보할 것을 요구하고 있고, 특수모멘트골조의 부분용입용접 기둥 이음부에 대해서는 예상 기둥소성모멘트 이상의 설계강도를 요구하고 있다.

본 연구에서는 기존 SM490강재와 국내에서 최근 개발된 내진용강재(SHN490, SN490)로 이루어진 특수모멘트골조의 기둥 이음부를 부분용입용접으로 설계 및 제작하여 내진 성능평가를 위한 실물대 실험을 실시하였다. 이를 통하여 부분용입용접 이음부의 예상 기둥소성강도의 발현여부 및 이음부 강도에 대한 강종의 영향을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험 프로그램

### 2.1 개요

우선 가력 및 계측계획, 테스트 셋업에 대하여 간략히 기술한다. 본 실험은 포항산업과학원(RIST) 강구조연구소의 구조실험동에서 수행되었다. 총 4개의 부분용입용접 기둥 이음부 시험체를 대상으로 3등분점 단조가력 실험을 수행하였다. 기존 구조용 강재와의 성능비교를 위해 SM490과 SHN490 강종의 압연형강 시험체 2개와 SM490과 SN490 강종의 조립형강 시험체 2개, 총 4개의 시험체를 준비하였다 (표 1 참조). 시험체 명칭에서 SM, SHN, SN은 시험체 강종을 의미하고, R, B는 각각 압연형강(Rolled), 조립형강(Built-up)을 의미한다. 본 실험에서 부분 용입용접에 사용한 용접봉은 인성값, 용접성, 가격 및 사용경험 등을 토대로 인장강도 580MPa급(SF71)을 사용하였다. SF71은 플렉스 코어 드 와이어로써, 전자세 용접용으로 개발된 용접재로서 국내의 강구조의 제작에 널리 사용된다.

표 1. 시험체 계획

시험체 명	강종	단면형상	제작형태
SM-R	SM490	H-414×405×18×28	압연형강
SHN-R	SHN490		
SM-B	SM490	BH-400×400×20×40	조립형강
SN-B	SN490		

### 2.2 부분용입 용접 이음부 설계

시험체의 기둥 이음부는 강구조내진기준안(2007) 및 AISC-LRFD 내진기준(2005)의 부분용입용접의 설계규정을 따랐다. 특수철골모멘트골조에서 부분용입용접의 설계강도는 연결된 기둥부재의 예상 휨강도 이상을 전달할 수 있도록 규정되어 있으므로 아래 식 (1)을 만족하도록 이음부를 설계하였다. 설계는 강재의 재질과는 무관하게 압연형강과 용접형강의 단면형상에 따라 두 가지로 구분하여 시험체를 설계하였다. 아래 (1)식의 부분용입용접부의 설계강도는 AISC-LRFD(2005)의 규정에 따랐다.

$$\phi_w M_n \geq R_y F_y Z_x \tag{1}$$

여기서,  $\phi_w = 0.80$

$$M_n = (0.60 F_{EXX}) Z_w$$

$F_{EXX}$ : 용접봉의 공칭인장강도

$Z_w$ : 부분용입용접 이음부의 소성단면계수

$R_y$ : 기둥 부재의 예상항복강도 대 공칭항복강도의 비 (1.15로 가정)

$F_y$ : 기둥 부재의 공칭항복강도

$Z_x$ : 기둥부재의 소성단면 계수

### 2.3 시험체 상세 및 테스트 셋업

#### 2.3.1 압연형강 시험체

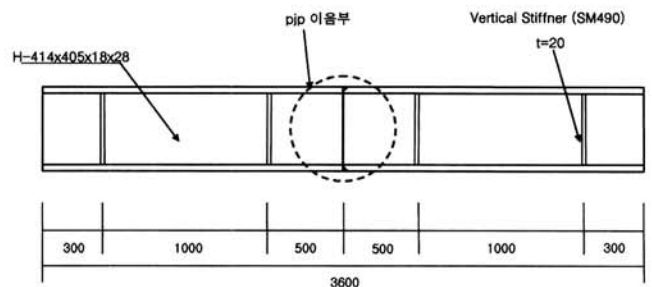


그림 1. 압연형강 시험체 (SM-R 및 SHN-R)의 상세개요

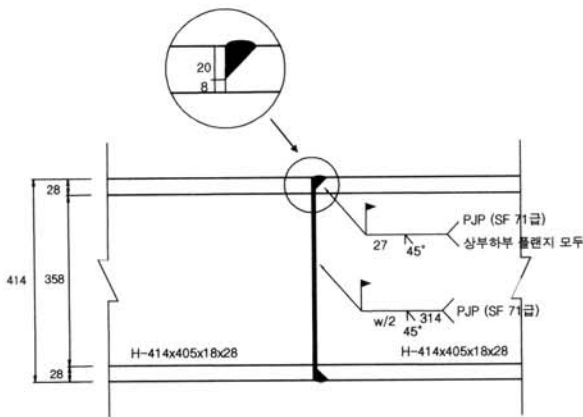


그림 2. 압연형강 시험체 (SM-R 및 SHN-R)의 부분용입용접(PJP) 이음부 상세도

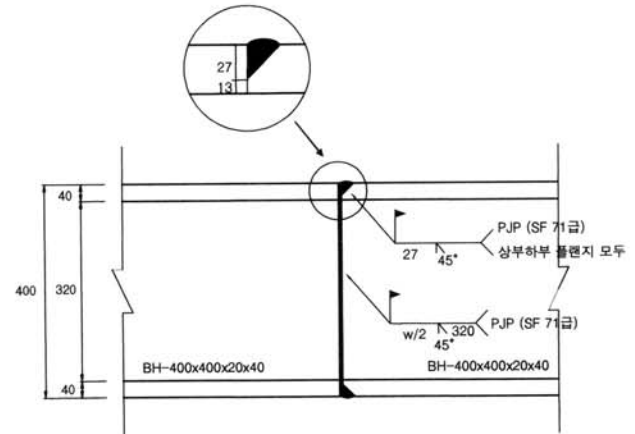


그림 5. 조립형강 시험체 (SM-B 및 SN-B)의 부분용입용접(PJP) 이음부 상세도

그림 1, 2는 압연형강 시험체(SM-R 및 SHN-R) 및 부분용입용접 이음부의 상세도이고, 그림 3은 접합부 부분의 제작 및 시험체 설치현황을 보여주는 사진이다.

그림 4, 5는 조립형강 시험체(SM-B 및 SN-B) 및 부분용입용접 이음부의 상세도이고, 그림 6은 접합부 부분의 제작 및 시험체 설치현황을 보여주고 있다.

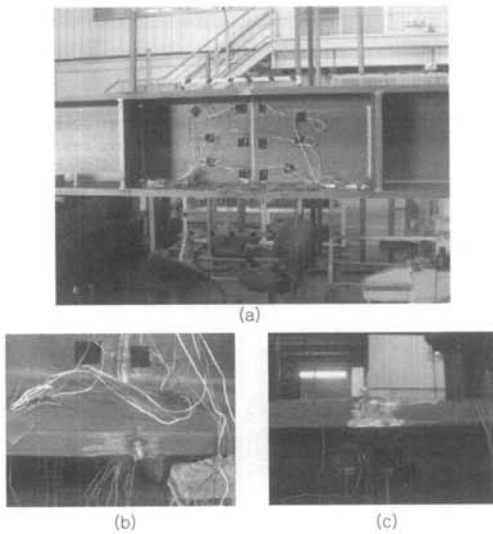


그림 3. 압연형강 시험체의 접합상세 사진:  
(a) 이음부 전경, (b) 하부 플랜지 부근,  
(c) 상부 플랜지 부근

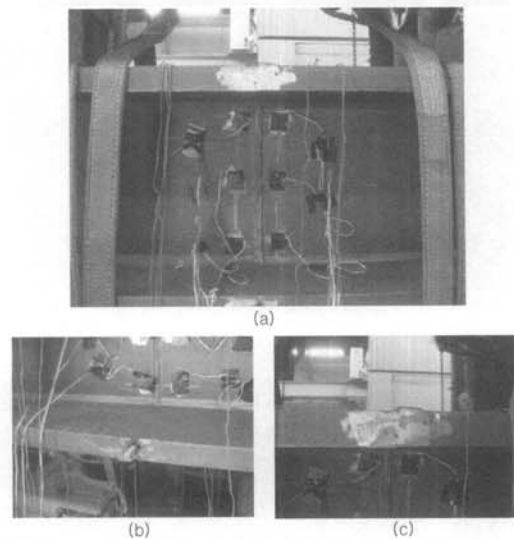


그림 6. 조립형강 시험체의 접합상세 사진:  
(a) 이음부 전경, (b) 하부 플랜지 부근,  
(c) 상부 플랜지 부근

### 2.3.2 조립형강 시험체

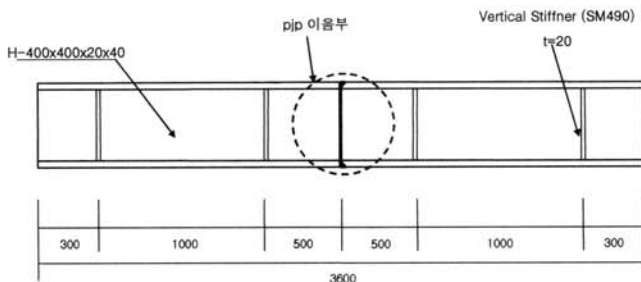


그림 4. 조립형강 시험체 (SM-B 및 SN-B)의 상세개요

### 2.3.3 테스트 셋업

기동 플랜지에 인장응력을 도입하기 위해 3등분점 가력을 통한 순수 휨시험을 수행하였다(그림 7 참조). 그림 8은 실제 실험을 위해 시험체를 설치한 모습이다. SM-R 시험체의 갑작스런 접합부 취성파단이 발생하여 시험체가 매우 위험스럽게 붕괴하였다. 이후의 실험에서는 안전상의 문제로 시험체가 탈락하지 않도록 벨트를 시험체 주위에 설치하고 가력하였다.

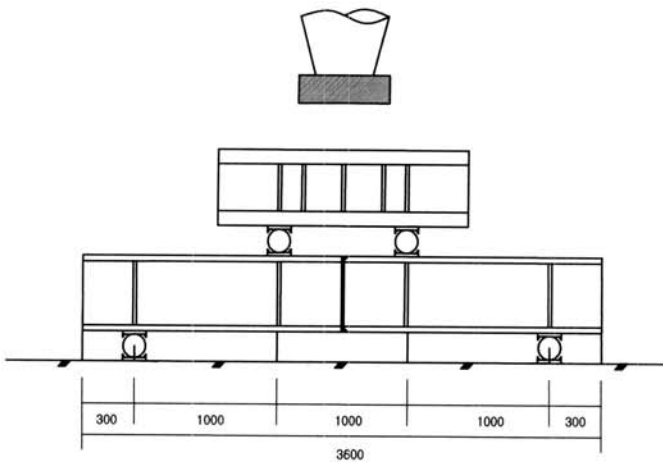


그림 7 가력모형 (3등분점 가력)

상태는 강도한계상태가 검토대상이므로 9860kN 용량의 UTM을 사용하여 단조가력하였다.

### 2.4.2 계측계획

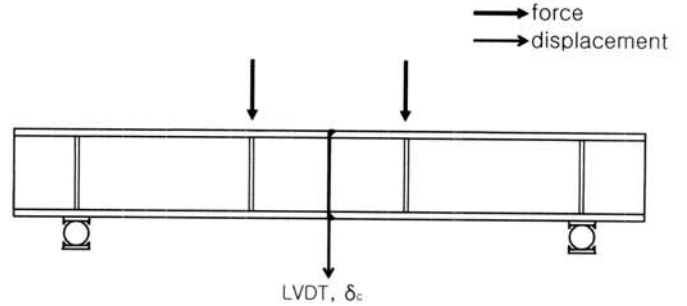
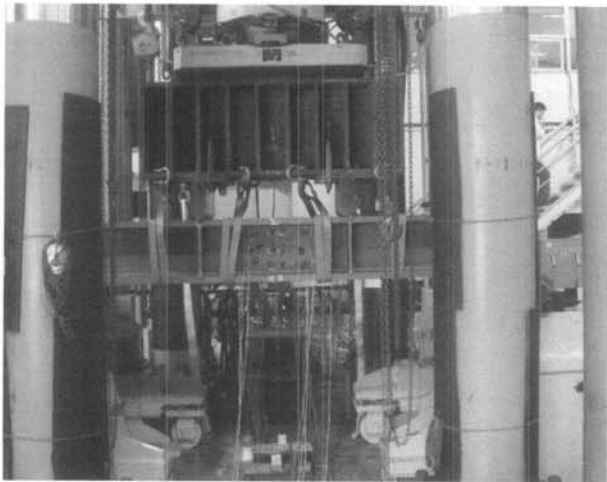


그림 9. 변위 계측 계획



(a) 시험체 정면

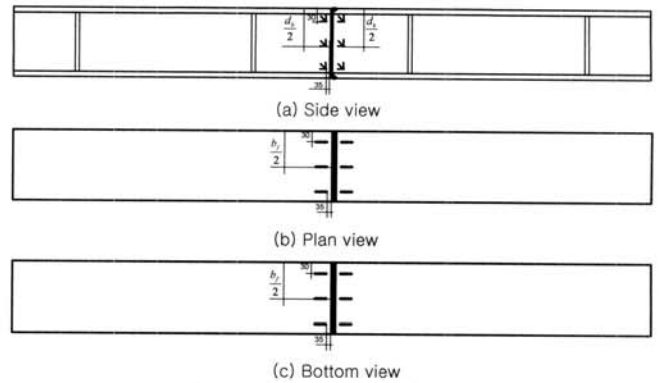
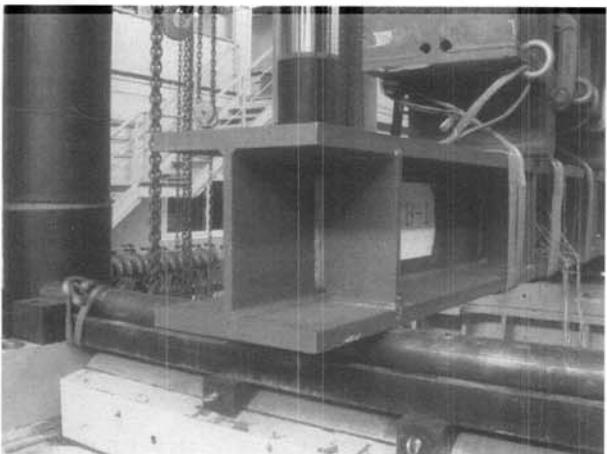


그림 10. 스트레인 게이지 부착 위치



(b) 지지점부근

그림 8. 테스트 셋업의 예 :

그림 9와 그림 10은 변위계 및 스트레인 게이지의 부착 위치를 나타낸 것이다. 변위계는 부분용입용접 이음부의 변위를 알 수 있도록 이음부 중심에 설치하였다. 시험체의 이음부 부근의 변형을 추적할 수 있도록 이음부에 근접하여 1축 게이지를 일렬로 배치하였고, 실제 순수 휨 상태인지 점검해 보기 위해 이음부 부근의 웨브에 3축게이지를 일렬로 배치하였다.

## 2.4 가력 및 계측계획

### 2.4.1 가력

탄성상태를 유지해야 하는 특수모멘트골조의 기둥의 한계

## 3. 실험결과

### 3.1 소재인장시험 결과

표 2는 소재 인장시험의 결과를 정리한 것이다. 시험편명에서 F는 부재의 플랜지 부분, W는 웨브 부분에서 쿠폰을 절취했음을 의미한다. 그림 11은 응력도-변형도 곡선을 도시한 것이다. 표 2와 그림 11로 부터 다음과 같은 점에 주목할 수 있다:

표 2. 소재인장 시험결과

시험편명	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	항복비	소재
SM-R (28t/F)	304.00	520.73	29.66	0.58	SM490
SM-R (18t/W)	333.42	522.67	26.46	0.64	SM490
SHN-R (28t/F)	367.75	504.06	30.78	0.72	SHN490
SHN-R (18t/W)	346.17	499.16	25.73	0.72	SHN490
SM-B (40t/F)	350.09	537.40	29.88	0.65	SM490
SM-B (20t/W)	257.91	406.98	31.49	0.63	SM490
SN-B (40t/F)	349.17	525.64	28.46	0.66	SN490
SN-B (20t/W)	366.77	530.54	27.14	0.69	SN490

- (1) 강도상의 규격요건을 모두 만족하고 균일한 물성을 보이는 SHN490, SN490과는 달리 SM490강재는 그 성능의 편차가 매우 심함을 알 수 있다.
- (2) SM 490 강재의 경우 H-414×405×18×28/28T (F), BH-400×400×20×40/20T(W)에서 보듯이 항복강도, 인장강도가 공칭값에 현저히 미달하는 경우가 있다.
- (3) 연신률, 항복비 등은 모든 강종에서 모두 만족스런 값을 보인다. 특히 항복비는 대부분이 0.70 이하로서 내진용의 한계값인 0.85보다 훨씬 작다.

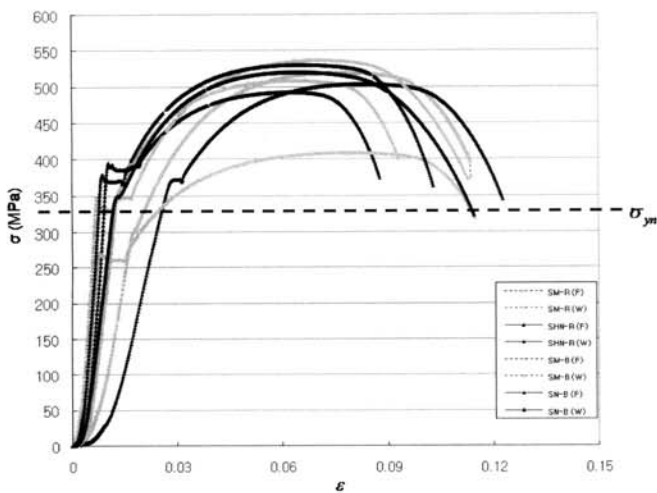


그림 11. 소재 - 응력도 변형곡선

### 3.2 예비해석

#### 3.2.1 단면의 성질

표 3은 시험체 부재의 단면의 성질과 공칭휨강도를 정리한

것이다. 여기서 공칭소성모멘트  $M_{pn}$ 는 재료의 공칭강도인 324 MPa를 사용하여 산정하였다.

표 3. 시험체의 단면의 성질 및 공칭소성모멘트

시험체	$I_x$ (m <sup>4</sup> )	$S_x$ (m <sup>3</sup> )	$Z_x$ (m <sup>3</sup> )	$Z_w/S_x$	$M_{pn}$ (kN-m)
SM-R / SHN-R	$9.28 \times 10^{-4}$	$4.48 \times 10^{-3}$	$5.026 \times 10^{-3}$	1.12	1626.53
SM-B / SN-B	$1.09 \times 10^{-3}$	$5.48 \times 10^{-3}$	$6.27 \times 10^{-3}$	1.14	2029.78

#### 3.2.2 단면의 실제강도

표 4는 부재의 인장시험 결과와 단면의 성질을 바탕으로 단면의 실제 강도를 정리한 것이다.

표 4. 시험체 단면의 실제 항복강도

시험체	$M_{ya}$ (kN-m) (실제항복모멘트)	$M_{pa}$ (kN-m) (실제소성모멘트)
SM-R	1361.95	1546.00
SHN-R	1647.52	1834.33
SM-B	1917.79	2148.64
SN-B	1896.31	2181.78

#### 3.2.3 실험의 하중조건

아래 그림 12 및 13은 가력조건 및 시험체에 발생하는 단면력 분포를 도시한 것이다.

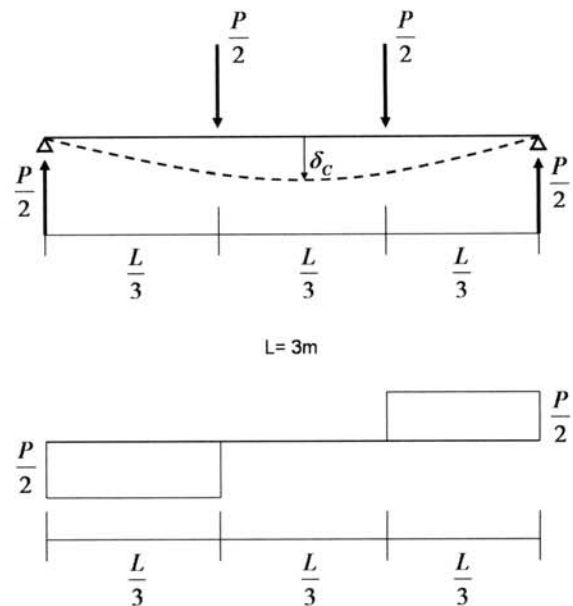


그림 12. 본 실험의 가력모형

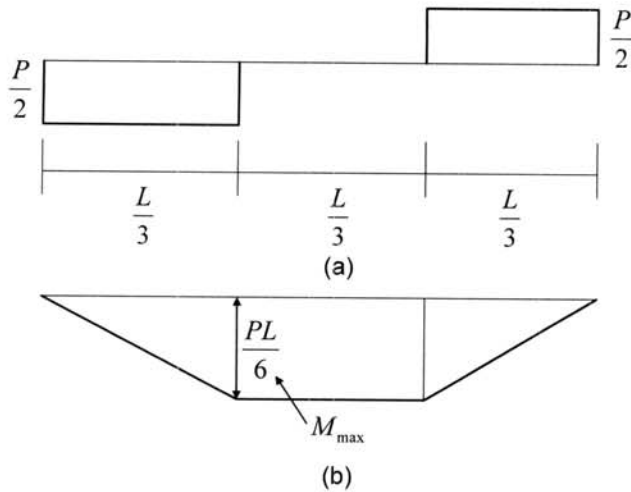


그림 13. 시험체 내의 단면력 분포:  
(a) 전단력도, (b) 휨모멘트도

1) 시험체의 실제 항복하중( $P_{ya}$ ) 및 실제 완전소성하중 ( $P_{pa}$ )  
표 4 및 그림 13(b)에 표시한 최대모멘트식을 이용하여 시험체의 실제항복하중과 실제완전소성하중에 대응되는 UTM의 축하중값을 아래 표5와 같이 예측하여 가력과 분석에 활용하였다.

표 5. 예상 항복하중과 예상 완전소성하중

시험체	$P_{ya}$ (kN) (실제항복하중)	$P_{pa}$ (kN) (실제완전소성하중)
SM-R	2723.90	3093.00
SHN-R	3295.03	3668.67
SM-B	3639.44	4297.27
SN-B	3792.62	4363.57

2) 실제항복변형도( $\epsilon_{ya}$ ) 및 항복곡률( $\phi_{ya}$ )

그림 14와 식 (2)을 통해 실제로 예상되는 항복변형도와 항복곡률을 계산하여 그 결과를 표 6에 정리하였다. 이 자료는 뒤에서 무차원 모멘트-곡률관계식으로 실험결과를 정리 및 분석하는데 사용할 것이다.

$$\epsilon_{ya} = \frac{F_{ya}}{E} ; \phi_{ya} = \frac{\epsilon_{ya}}{d/2} \quad (2)$$

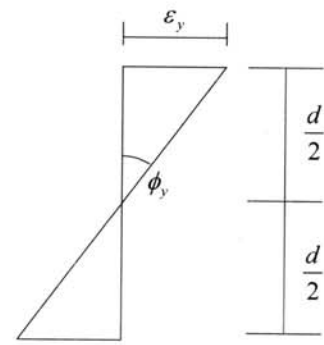


그림 14. 변형도와 곡률간의 관계

표 6. 예상 항복변형도와 항복곡률

시험체	$\epsilon_{ya}$ (mm/mm)	$\phi_{ya}$ (rad/mm)
SM-R	0.00148	$7.15 \times 10^{-3}$
SHN-R	0.00179	$8.65 \times 10^{-3}$
SM-B	0.0017	$8.21 \times 10^{-3}$
SN-B	0.00168	$8.12 \times 10^{-3}$

3.3 시험체 SM-R

3.3.1 가력중 관측사항

가력 도중 용접 이음부 부근에서 균열음이 발생하면서 하부 보플랜지 이음부의 어긋남이 관측되었다(그림 15 참조). 가력하중 3432.3 kN에서 용접접합부에서 급격한 취성파단이 발생하여 실험을 종료하였다. 그림 16은 파단 직후 시험체의 붕괴 모습, 그림 17은 용접 접합부 파단면을 나타낸다. 용접 파단면은 회백색으로서 파괴모드가 연성파단(ductile fracture)이 아니라 급격한 취성파단(brittle fracture)임을 잘 보여주고 있다.

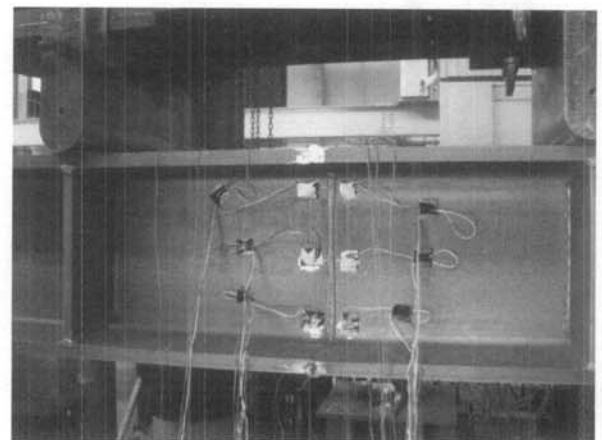


그림 15. 시험체 SM-R의 하부플랜지 어긋남

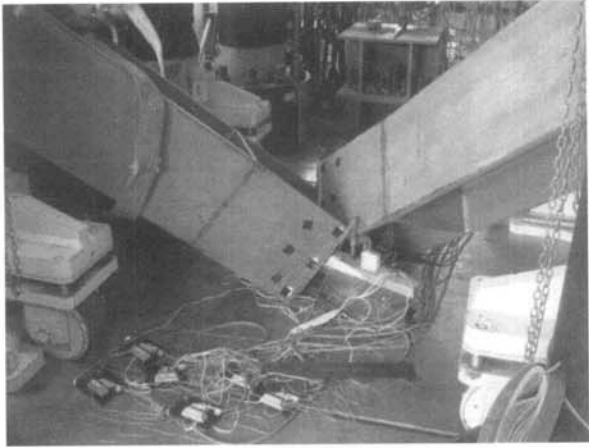


그림 16. 시험체 SM-R의 이음부 파단에 따른 붕괴 직후 모습

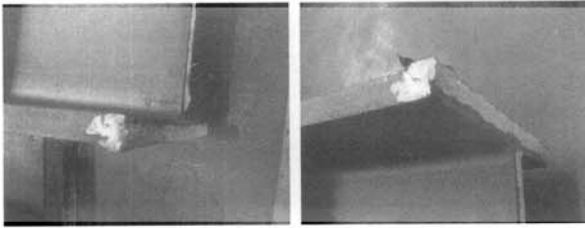


그림 17. 시험체 SM-R의 용접접합부 파단면의 모습

### 3.3.2 전반적 응답

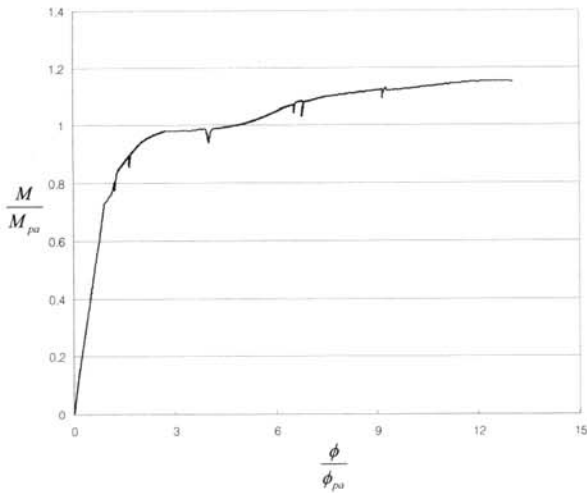


그림 18. 시험체 SM-R의 무차원 모멘트-곡률관계

그림 18은 실제 강도를 사용하여 작성된 시험체 SM-R의 무차원 모멘트-곡률 관계를 보여주고 있다. 부재의 예상 항복모멘트의 약 95%정도에서 항복이 시작되었으며, 부재의 완전소성모멘트를 15%를 초과한 후 이음부에서 급격한 취성 파단이 발생하였다. 취성파단에 도달까지 12정도의 곡률연성비를 나타내었다.

### 3.3.3 스트레인 응답

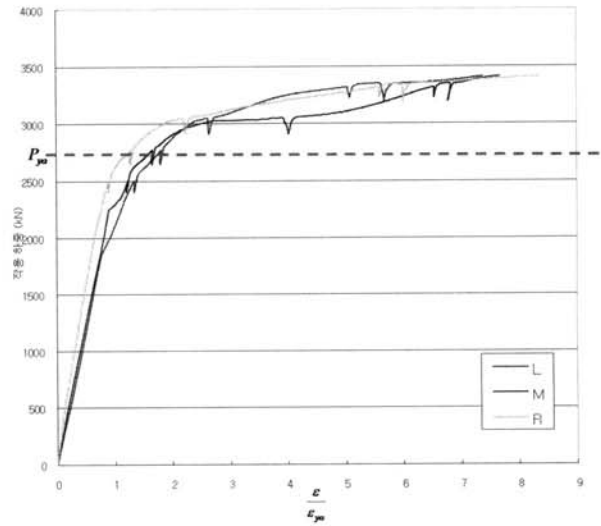
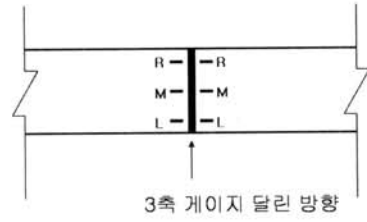


그림 19. 시험체 SM-R의 하부플랜지 휨변형도 응답

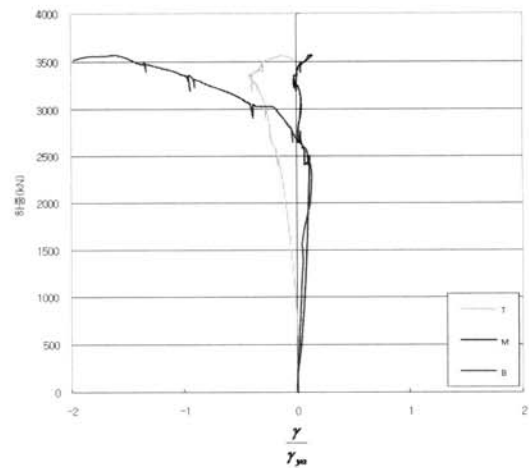
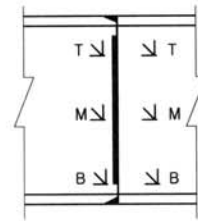


그림 20. 시험체 웹 부분의 전단변형도 응답

그림 19는 시험체 하부 플랜지의 휨변형도 계측값을 도시한 것이다. 파단에 도달시까지 약 8~9 정도의 변형률연성도

(strain ductility)가 발휘되었음을 알 수 있다. 그림 20은 웨브 부분의 전단변형도를 도시한 것이다. 이음부는 순수 휨 상태에 있으므로 웨브 부분의 전단변형도는 발생하지 않아야 한다. 초기에는 이런 상태가 유지되지만 하부 플랜지 이음부가 어긋나면서, 웨브 하단의 전단변형이 급격히 증가하였음을 알 수 있다.

### 3.4 시험체 SHN-R

#### 3.4.1 가력중 관측사항

본 시험체의 경우 완전소성강도에 발현 이후 변형경화에 이르기까지 취성파괴없이 이음부의 강도가 유지되어서는 바람직한 거동을 보였다. 반력상판의 파괴 우려 때문에 UTM 하중 4030.5 kN에서 가력을 중지하였다.

#### 3.4.2 전반적 응답

시험체 SM-R은 UTM 가력하중 3432.3 kN에서 급격한 취성파괴가 발생하였지만, 본 시험체는 UTM 최대 가력점인 4030.5 kN까지 이음부에 취성파괴가 발생하지 않고 안정적인 성능을 발휘하였다. 그림 21은 실제 강도를 사용하여 작성된 시험체 SHN-R의 무차원 모멘트-곡률 관계를 보여주고 있다. 부재의 완전소성모멘트를 10%를 초과하는 변형경화 상태에 도달해도 본 시험체는 취성파괴가 발생치 않았다. 즉 내진기준에서 요구되는 충분한 이음부 강도를 발휘하였다. 최대 가력점까지의 곡률연성비는 2.5 정도에 머물렀다.

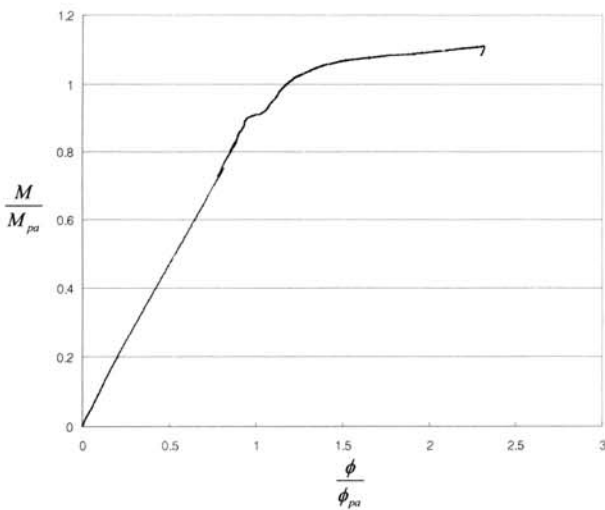


그림 21. 시험체 SHN-R의 무차원 모멘트-곡률 관계

#### 3.4.3 스트레인 응답

그림 22에서 보듯이 본 시험체의 변형률연성도(strain ductility)는 2~4.5 범위에 있음을 알 수 있다. 순수 휨

가력조건에 부합되게 이음부 웨브의 전단변형도는 거의 발생치 않았음을 확인할 수 있었다.

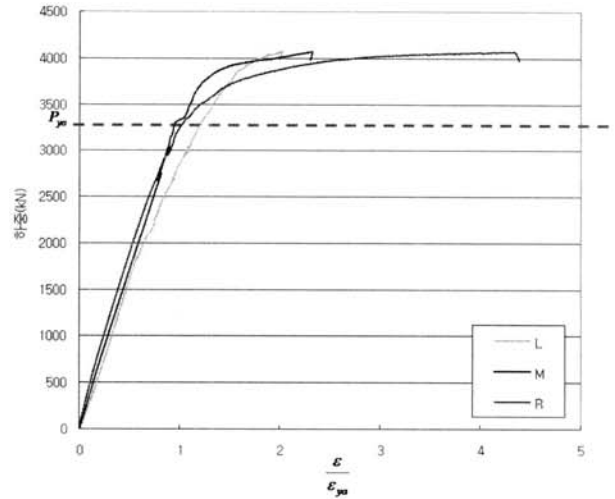
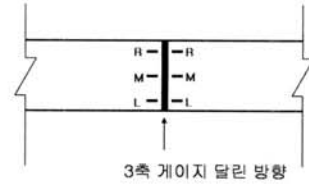


그림 22. 시험체 SHN-R의 하부플랜지 휨변형도 응답

### 3.5 시험체 SM-B

#### 3.5.1 가력중 관측사항

본 시험체의 경우 완전소성강도에 이르기까지 취성파괴없이 이음부의 강도가 유지되어서는 바람직한 거동을 보였다. 반력상판의 파괴 우려 때문에 UTM 하중 4364.0 kN에서 가력을 중지하였다.

#### 3.5.2 전반적 응답

그림 23에서 보듯이 시험체 SM-B도 취성파괴없이 완전소성모멘트 강도를 발휘하여 내진기준의 요구조건을 만족하였다. 실제 소성모멘트 도달시의 곡률연성비는 1.3 정도임을 알 수 있다.

#### 3.5.3 스트레인 응답

그림 24에서 보듯이 본 시험체의 변형률연성도(strain ductility)는 1.5 안팎의 범위에 있음을 알 수 있다. 본 시험체에서도 순수 휨 가력조건에 부합되게 이음부 웨브의 전단변형도는 거의 발생치 않았음을 확인할 수 있었다.



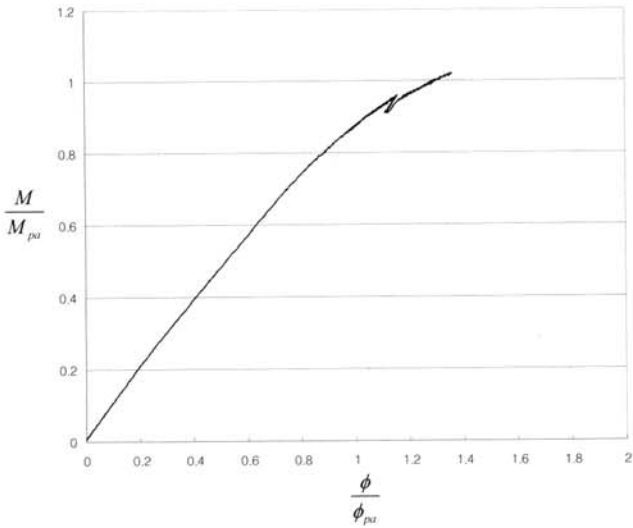


그림 23. 시험체 SM-B의 무차원 모멘트-곡률 관계

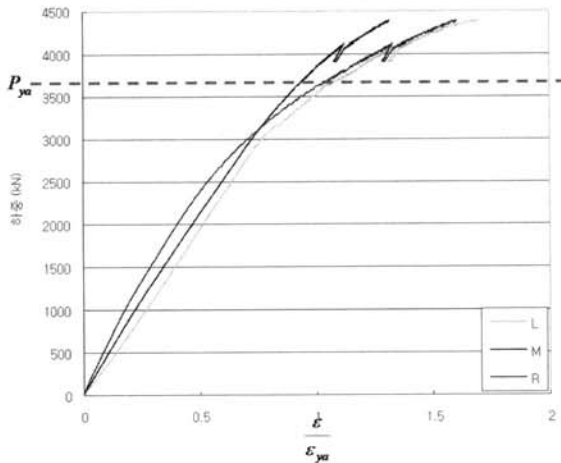
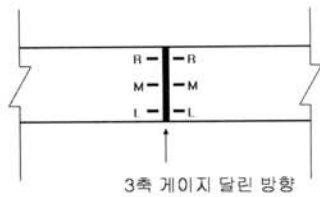


그림 24. 시험체 SM-B의 하부플랜지 힘변형도 응답

### 3.6 시험체 SN-B

#### 3.6.1 가력중 관찰사항

본 시험체의 경우도 완전소성강도에 이르기까지 취성파괴 없이 이음부의 강도가 유지되어서는 바람직한 거동을 보였다. 반력상 파괴의 우려 때문에 본 실험의 경우도 UTM 하중 4363.0 kN에서 가력을 중지하였다.

#### 3.6.2 전반적 응답

그림 25에서 보듯이 시험체 SN-B도 취성파괴없이 완전소

성모멘트 강도를 발휘하여 내진기준의 요구조건을 만족하였다. 실제 소성모멘트 도달시의 곡률연성비는 1.6 정도임을 알 수 있다.

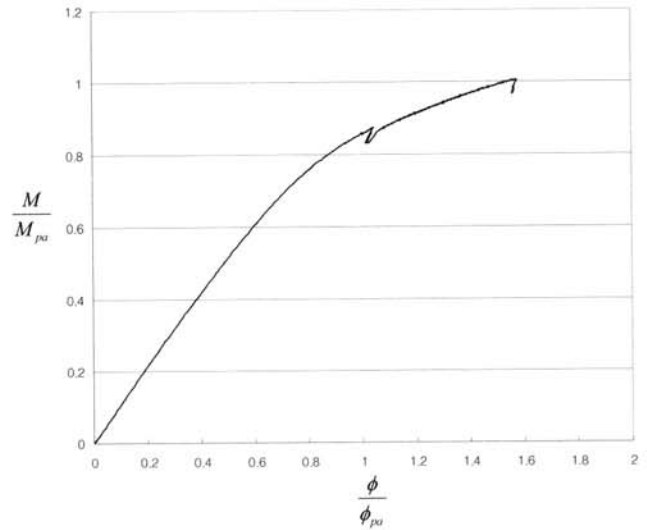


그림 25. 시험체 SN-B의 무차원 모멘트-곡률 관계

#### 3.6.3 스트레인 응답

그림 26에서 보듯이 본 시험체의 경우 변형률연성도(strain ductility)는 1.5 안팎의 범위에 있음을 알 수 있다. 본 시험체에서도 순수 휨 가력조건에 부합되게 이음부 웨브의 전단변형도는 거의 발생치 않았음을 확인할 수 있었다.

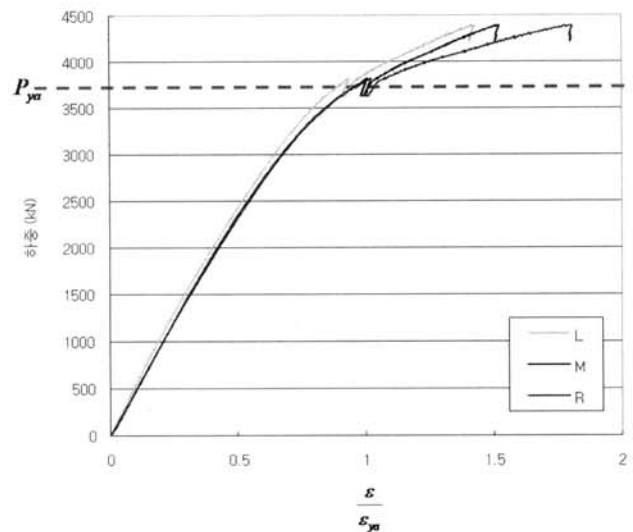
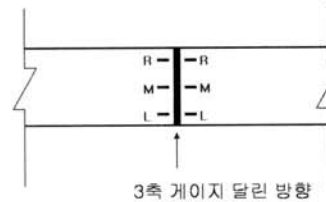


그림 26. 시험체 SN-B의 하부플랜지 힘응력도 응답

### 3.7 실험결과와의 비교

#### 3.7.1 압연형강 시험체의 비교

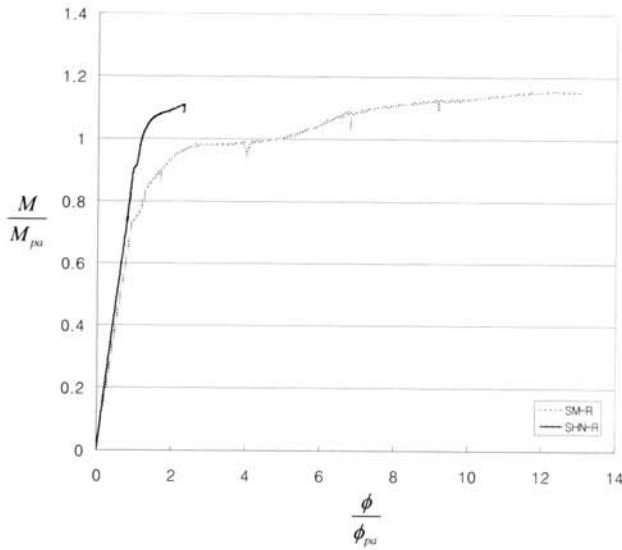


그림 27. 압연형강 시험체의 모멘트-곡률 관계 비교

그림 27은 압연형강의 두 시험체의 무차원 모멘트-곡률 관계를 비교한 것이다. 우선 두 시험체의 부분용입용접 이음부 모두 기둥의 실제 소성모멘트강도를 발휘하였지만 시험체 SM-R은 최종적으로 이음부의 급격한 취성파괴가 발생하는 열등한 거동을 나타냈다. 이음부의 강도 역시 SHN-R이 SM-R보다 17% 정도 커서 우수하다. 그림 27에서 보듯이 시험체 SM-R의 이음부 부근의 소성변형요구도가 월등히 크다. 이는 시험체 SM-R의 플랜지 항복강도가 304 (MPa)에 불과하여 공칭강도인 324 (MPa)에도 미달된 점, 그리고 용접결함에 따른 조기 균열의 영향 때문인 것으로 추측된다.

#### 3.7.2 조립형강 시험체의 비교

가력용량의 제한 때문에 변형경화 영역까지 충분히 가력치는 못하였지만, 그림 28에서 보듯이 두 시험체는 모두 특수 모멘트골조 이음부에 요구되는 강도요건을 취성파단없이 만족시키고 있다. 만일 추가 가력이 가능했다면 두 시험체 모두 기둥의 실제 소성모멘트 강도를 충분히 상회하는 이음부 내력을 발휘했을 것으로 추측된다.

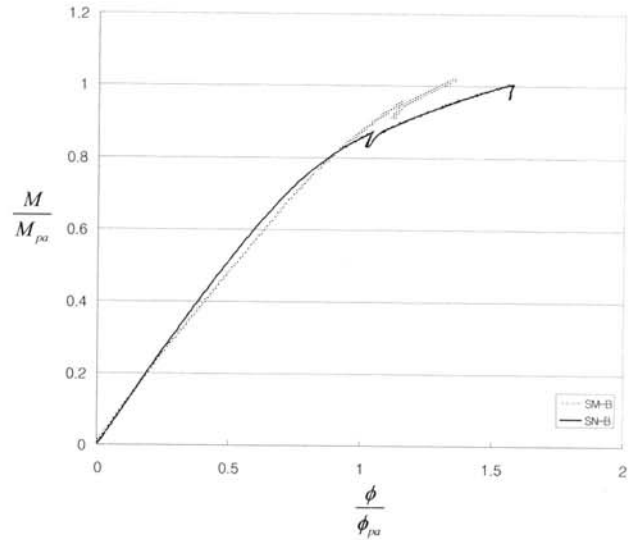


그림 28. 조립형강 시험체의 모멘트-곡률 관계 비교

## 4. 결론

본 실험연구의 결론을 요약하면 다음과 같다:

- (1) 강도상의 규격요건을 모두 만족하고 균일한 물성을 보이는 SHN490, SN490과는 달리 SM490강재는 그 성능의 편차가 매우 심함을 알 수 있다. 특히 SM 490 강재의 경우 항복강도, 인장강도가 공칭값에 현격히 미달하는 경우가 관측되었다. 반면 연신률, 항복비 등은 모든 강종에서 모두 만족스런 값을 보인다. 특히 항복비는 대부분이 0.70 이하로서 내진용의 한계값인 0.85보다 훨씬 작다.
- (2) 본 연구의 (1)식에 따라 설계된 4개 시험체의 이음부 모두는 기둥의 실제 휨강도를 발휘하였다. 즉 부분용입 용접 이음부의 설계식으로서 (1)식이 신뢰성을 확인할 수 있었다. 보완실험을 통해 (1)식의 신뢰도가 좀더 확인된다면, 기둥 이음부에 고비용이고 공기지연을 가져 오는 완전용입상세를 사용할 필요가 없을 것이다. 특히 후판재기둥을 사용하는 경우 경제성 향상효과를 다소 기대해 볼 수 있다.
- (3) 2개의 압연형강 시험체의 모두 기둥의 실제 소성모멘트강도를 발휘하였다. 그러나 SM 490강종을 사용한 SM-R은 소성모멘트강도 발현 이후 최종적으로 이음부의 급격한 취성파괴가 발생하는 열등한 거동을 나타냈다. 이는 시험체 SM-R의 플랜지 항복강도가 304 (MPa)에 불과하여 공칭강도인 324 (MPa)에도 미달된 점, 그리고 용접결함에 따른 조기 균열의 영향 때문인 것으로 추측된다.

(4) 2개의 조립형강 시험체는 모두 특수모멘트골조 이음부에 요구되는 강도요건을 취성과단없이 발휘하였다. 만일 추가 가력이 가능했다면 두 시험체 모두 기둥의 실제 소성모멘트 강도를 충분히 상회하는 이음부 내력을 발휘했을 것으로 추측된다.

제한적 실험결과이긴 하지만 소재물성 및 이음부 거동의 측면 모두에서 내진용 신강재가 기존강재에 비해 전체적으로 우수함을 보여준 결과라 할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 현대건설과 포스코의 연구비지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

한국강구조학회(2007), 강구조내진기준(안)

AISC (2005), *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*, Chicago, IL.

AISC (2005), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, Chicago, IL.

Bruneau, M., and Mahin, S.A. (1991), *Full Scale Tests of Butt Welded Splices in Heavy Rolled Steel Sections Subjected to Primary Tensile Stresses*, Engineering Journal, Vol. 28, No. 1, AISC, pp. 1-17.

Bruneau, M., Mahin, S.A., and Popov, E.P. (1987), *Ultimate Behavior of Butt Welded Splices in Heavy Rolled Steel Sections*, Report UBC/EERC-87/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Popov, E.P., and Stephen, R.M. (1977), *Tensile Capacity of Partial Penetration Welds*, ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 103, No. ST9.  
(접수일자 : 2008. 8. 26 / 심사일 2008. 9. 19 / 게재확정일 2008. 10. 22)