

주강제 노출형 철골주각부의 휨 성능에 관한 실험 연구

Experimental Study on Flexural Capacity of Column Base Plate Made of Cast Steel

이 성 호¹⁾ · 박 형 철²⁾ · 오 보 환³⁾
Lee, Sung Ho · Park, Hyung Chul · Oh, Bo Hwan

요 약 : 기존의 주각부는 보강을 위하여 주각부의 가공에 많은 인력과 시간이 필요하게 되며 용접부가 과다하게 되어 베이스 플레이트에 변형이 발생하여 현장 설치시 앵커볼트와의 조립이 어려운 점등의 문제가 있다. 또한 상부구조의 응력분포와 변형 등을 평가하는 것에 있어서 중요한 의미를 가지는 주각의 고정도는 베이스플레이트의 강성부족, 앵커볼트의 느슨함, 베이스플레이트 하면(下面) 모르타르의 충전불량 등에 의해서 실제 해석상의 완전고정보다는 고정도가 저하된다. 본 연구는 기존의 주각구성 방법을 개선하기 위해 응력의 분포에 따라 베이스 플레이트의 두께조절이 가능한 주강(鑄鋼)을 사용하여 베이스플레이트의 강성을 크게하고, 주각부를 보다 간편하게 구성할 수 있는 방법을 도입하였다. 이러한 주각구성법은 철판을 절단하여 용접하는 기존의 형식을 탈피하여 주각부의 베이스플레이트를 응력의 분포에 맞춰 그 두께를 조절할 수 있는 주강제품으로 제작함으로써 주각부의 가공 및 용접량을 최대한 줄이고 베이스플레이트의 강성을 증대시키며, 응력의 흐름도 명확하게 할 수 있을 뿐만 아니라 시공의 간편성, 품질의 향상을 도모하는 것에 그 목적이 있다. 이러한 주강제 주각부의 개발을 위하여, 기존 주각부와 주강제 주각부에 대한 실험체를 제작하여 반복가력 시험을 통하여 내력과 강성을 파악하고, 피로 시험을 통하여 장기적인 사용성을 확인하였다. 이상의 실험을 통해 주강제 주각부와 기존의 주각부의 구조적 성능을 비교하였을 때 내력과 강성면에서 동등한 성능을 보유하고 있는 것으로 나타났고, 사용하중의 반복가력 평가에서도 주강제 주각부가 안정적인 거동을 하는 것으로 평가되었다.

ABSTRACT : Manufacturing conventional column base plate requires much manpower and time. In this research, a new method for constructing column base plate is introduced to improve on conventional methods through the use of cast steel that is available for adjusting base plate thickness and enlarging base plate stiffness. The main purposes include reducing welding work, enlarging base plate stiffness, and clarifying the stress flow. Also, construction convenience and improvement in quality can be expected. For developing this cast steel base plate, test specimens of conventional and cast steel base plates are made and tested to analyze strength and stiffness. Also, the efficiency for long-term use is checked by fatigue tests. From these comparative tests, cast steel base plates have the same strength and stiffness as conventional base plates.

핵 심 용 어 : 노출주각, 베이스플레이트, 앵커볼트, 주강, 휨성능, 회전강성

KEYWORDS : Exposed Type Column Base, Base Plate, Anchor Bolt, Cast Steel, Flexural Capacity, Rotational Stiffness

1. 서 론

주각은 건물의 무게를 기초에서 지반에 전달하고, 지진시의 지진동은 주각을 통해 건물을 흔드는 힘으로 변하며 그 반력도 주각을 통해 지반에 흡수된다. 즉 주각은 구조물과 기초를 연결하는 힘의 통로라고 할 수 있다.

하중의 전달 방법에 따라 일반적으로 고정 주각과 핀주각으로 나눌 수 있는데, 핀주각은 주각을 핀으로 가정하여 전체 구조물을 해석한 것으로 실제로는 어느 정도의 고정도가 생겨서 휨에 대한 저항이 발생하고 그 부가응력 때문에 앵커볼트가 파단되거나 인발되고 베이스플레이트의 변형, 콘크리트의 압괴 등의 피해가 발생할 수 있다.

1) 정희원, 대우건설기술연구소, 공학석사
(Tel : 031-250-1165, Fax : 031-250-1131, E-mail : architect@dwconst.co.kr)
2) 정희원, 대우건설기술연구소, 공학석사, 구조기술사(phc@dwconst.co.kr)
3) 정희원, 대우건설기술연구소, 공학박사(bhoh@dwconst.co.kr)

본 논문에 대한 토의를 2005년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.



그림 1. 기존의 주각부



그림 2. 주강제 주각부

고정주각에 있어서 기둥의 강재는 강하고 이에 비하여 기초 콘크리트는 허용응력도가 작으므로 주각부는 기둥의 응력을 분산시켜서 기초콘크리트에 균등히 전달할 수 있어야 한다. 압축측은 기둥에서의 압축력을 베이스플레이트 만으로는 콘크리트에 충분히 분산하기 어렵고, 인장측에 대해서는 앵커볼트에 의한 응력에 의하여 베이스 플레이트가 휘어버리므로 두께를 얇게 하려 할때 Wing Plate, Side Angle, Grip Angle, Rib 등 각종 보조재로 보강을 위하여 주각부의 가공에 많은 인력과 시간이 필요하게 된다. 또한 용접부가 과다하게 되어 베이스 플레이트에 변형이 발생하여 현장 설치 시 앵커볼트와의 조립이 어려운 점등의 문제가 있다. 구조 해석에 있어서 상부구조의 응력분포와 변형 등을 평가하는 것에 중요한 의미를 가지는 주각의 고정도는 베이스플레이트의 강성부족, 앵커볼트의 느슨함, 베이스플레이트 하면(下面) 모르타르의 충전 불량 등에 의해서 실제 해석상의 완전고정보다는 고정도가 저하된다.

본 연구에서는 이러한 기존의 주각구성 방법을 개선하기 위해 응력의 분포에 따라 베이스 플레이트 부의 두께조절이 가능한 주강(鑄鋼)을 사용하여 베이스플레이트의 강성을 크게 하고, 주각부를 보다 간편하게 구성할 수 있는 방법을 도입하여, 주각부의 가공 및 용접량을 최대한 줄이고 베이스플레이트의 강성을 증대시키며, 응력의 흐름도 명확하게 할 수 있을 뿐만 아니라 시공의 간편성, 품질 향상을 도모하는 것에 그 목적을 두었다.

이러한 주강제 주각부의 개발을 위하여, 기존 주각부와 주강제 주각부에 대한 실험체를 제작하여 반복가력 시험을 통하여 내력과 강성을 파악하고, 피로 시험을 통하여 장기적인 사용성을 확인하였다. 이를 통하여 기존 주각부와 비교하여 주강제 주각부의 구조적 성능을 검증하였다.

2. 주각부의 내력 및 강성 평가

2.1 주각부의 내력 평가식

2.1.1 秋山식

주각부에서 하부 기초 콘크리트와 베이스플레이트를 연결하는 앵커볼트가 항복비가 작은 것이 사용되었을 경우는, 앵커볼트가 상당히 늘어난 후에 변형경화(Strain hardening)가 일어나기 때문에 건물의 하부층에 변형을 일으키게 된다. 따라서, 秋山식에서 주각의 종곡모멘트는 앵커볼트의 항복시점의 휨내력으로 결정한다. 내력 평가식은 다음과 같다.

$$M_y = n \cdot A_b \cdot \sigma_y \cdot (d_t + d_c) + Nd_c \quad (\text{식 1})$$

여기서,

M_y : 항복모멘트, n : 앵커의 갯수

A_b : 앵커의 단면적, σ_y : 앵커의 항복강도

N : 기둥축력, d_t : 기둥중심에서 인장앵커까지 거리

d_c : 기둥중심에서 압축플렌지 외면까지 거리

2.1.2 佐藤식

佐藤식은 주강제 주각부를 대상으로 한 것으로 기본적인 가정조건은 다음과 같다.

- ① 베이스플레이트의 강도는 앵커볼트의 강도 및 콘크리트의 지압강도를 상회한다.
- ② 압축측 지압응력 분포는 베이스플레이트 압축선에 선형으로 분포한다.
- ③ 콘크리트의 지압강도 σ_u 는 기초실험의 평가에 따라 다음식을 사용한다.

$$\sigma_u = 0.49 F_c \sqrt{A_1/A_0} \quad (\text{식 2})$$

여기서, F_c : 콘크리트의 압축강도

$A_1 = B_1 \times D_1$: 콘크리트의 전단면적,

$A_0 = B \times D$: 베이스플레이트의 지압면적

그림 3과 같은 하중 상태에 대한 극한 모멘트(M_u)는 다

음의 조합식과 같다.

$$N = B \cdot X \cdot c \sigma_u - T_u \quad (\text{식3})$$

$$M_u = T_u \cdot d_t + B \cdot X \cdot c \sigma_u \cdot (D - X)/2 \quad (\text{식4})$$

여기서, N : 기둥축력

T_u : 앵커볼트의 최대내력

X : 기둥 압축축 플렌지에서 베이스플레이트 연단까지의 거리

항복모멘트(M_y)는 극한강도를 항복강도로 치환하여, 다음의 조합식을 도입하였다.

$$c \sigma_y = 0.45 F_c \sqrt{A_1/A_0} \quad (\text{식5})$$

$$N = B \cdot X \cdot c \sigma_y - T_y \quad (\text{식6})$$

$$M_y = T_y \cdot d_t + B \cdot X \cdot c \sigma_y \cdot (D - X)/2 \quad (\text{식7})$$

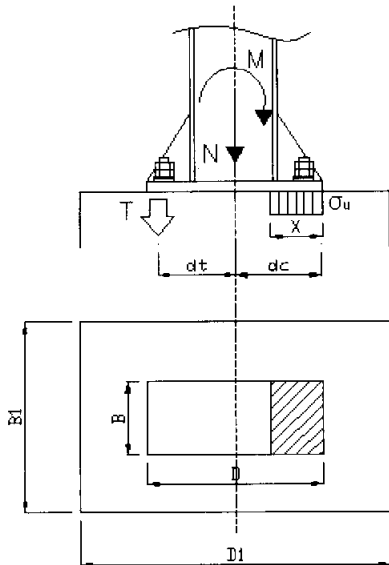


그림 3. 주각부의 응력상태

2.2 주각부의 강성 평가식

2.2.1 増田식

増田식은 일반적인 베이스플레이트를 대상으로 한 것이며, 휨모멘트 만에 의한 앵커볼트의 늘어남 및 베이스플레이트의 변형을 고려한 것이다. 기본적인 가정 조건은 다음과 같다.

- ① 앵커볼트를 죄이는 힘 및 콘크리트와 부착력의 영향은 무시한다.
- ② 베이스플레이트의 반력은 고려하지 않는다.
- ③ 베이스플레이트 하면에서의 수평변위 및 콘크리트의 수직변위는 무시한다.

위와 같은 가정조건에 대해서 주각부의 회전강성(K_θ)은 다음과 같다. 주요 매개변수는 그림 4에 나타내었다.

$$K_\theta = \frac{\gamma(d-x_n/3)(d-x_n-a)}{1+a \cdot \gamma} \quad (\text{식8})$$

여기서, $x_n = \frac{nA_t}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_t}} - 1 \right)$

$$\alpha = \frac{a^3}{3EI}, \quad I = \frac{bt^3}{12}$$

$$\gamma = \frac{EA_t}{l_b}, \quad n = E_s/E_c$$

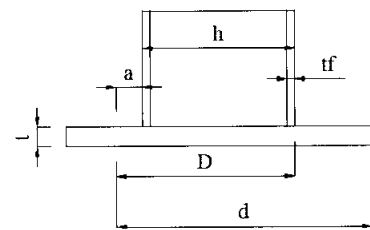


그림 4. 주요 매개 변수

2.2.2 秋山식

秋山식은 일반적인 베이스플레이트에 대한 것으로 기본적인 가정은 다음과 같다.

- ① 베이스플레이트가 앵커볼트의 항복전에 앵커볼트를 받치는 쪽에서 휨 항복하지 않는다.
- ② 앵커볼트는 하단부에서 앵커블럭에 의해서 콘크리트에 정착되어 있다.

위와 같은 가정조건에 대해서 주각부의 회전강성(K_θ)은 다음과 같다.

$$K_\theta = \frac{EA_t(d_t + d_c)^2}{2l_b} \quad (\text{식9})$$

여기서, A_t : 인장볼트의 전단면적

l_b : 앵커볼트의 유효길이

d_t : 기둥중심에서 인장앵커까지 거리

d_c : 기둥중심에서 압축플렌지 외면까지 거리

표 1. 실험체 일람

실험체명		기둥부재 (강종)	수량	베이스플레이트 두께(mm)	앵커볼트	무수축 몰탈 (mm)	비고
B Type	B1	H400×400×13×21 (SM490)	3	50	F4T-M42-4EA	50	일방향 반복가력
	B2						정, 부 반복가력
	BF						피로실험
CB Type	CB1	H400×400×13×21 (SM490)	3	110	F4T-M42-4EA	50	일방향 반복가력
	CB2						정, 부 반복가력
	CBF						피로실험

2.2.3 佐藤식

佐藤식은 앵커볼트에 초기 강성이 도입된 주강제 주각부를 대상으로 한 것으로 앵커볼트의 거동을 이간하중 전후로 구분하여 평가하였고, 그림 5와 같이 주각의 탄성회전강성을 앵커볼트가 이간 할 때까지의 모멘트 구간에서 K_1 으로, 이간후의 항복모멘트 구간까지를 K_2 로 구분하였고, 가정조건은 다음과 같다.

- ① 베이스플레이트의 하부 콘크리트는 고강도 무수축 모르타르로 완전히 밀착된다.
- ② 베이스플레이트는 변형을 무시할 만큼 강성이 높다.
- ③ 콘크리트 압축반력의 합은 기둥 압축플렌지 외단의 밑부분에 작용한다.
- ④ 이간하중 전까지는 도입장력에 의해서 콘크리트의 강성을 고려하고, 그 이후는 앵커볼트의 강성만을 고려한다.
- ⑤ 베이스플레이트의 회전중심은 이간모멘트까지 베이스플레이트의 중심에 위치한다.
- ⑥ 이간모멘트까지의 회전강성 K_1 은 기둥의 축력의 크기에 관계없이 일정하다.

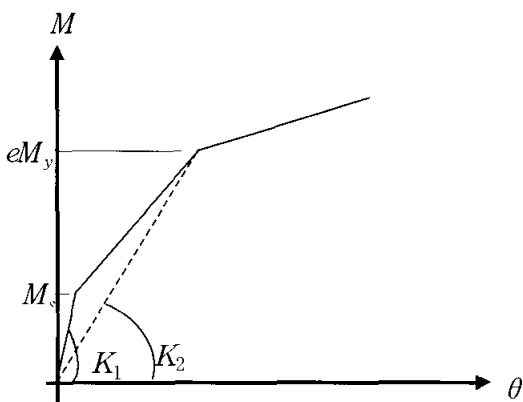


그림 5. 주강제 주각부의 강성

위와같은 가정에 의하여 주각부의 탄성회전강성 평가식은 다음과 같이 나타냈다.

이간모멘트 (M_s)까지

$$K_1 = \frac{(1+\chi) \cdot E \cdot n \cdot A_b}{L} \cdot d_t(d_t + d_c) \quad (식10)$$

너트부분 항복모멘트 (eM_y)까지

$$K_2 = \frac{E \cdot n \cdot A_b}{(1-\beta)L} \cdot d_t(d_t + d_c) \quad (식11)$$

여기서, E : 앵커볼트의 영계수

A_b : 앵커볼트의 축부분의 단면적,

L : 앵커볼트의 길이

n : 인장축 앵커볼트의 개수, $\beta = N \cdot d_c / eM_y$

χ : 콘크리트와 앵커볼트의 탄성계수비

3. 실험

3.1 실험체 종류 및 형상

실험체의 종류는 기존의 주각부(B Type)와 주강제 주각부(CB Type)로 분류하였고, 각 형태별 3개씩 제작하였다.

표 1과 같이 B1, CB1 실험체는 일방향 반복가력을 통하여 각 실험체의 내력 및 강성을 평가하기 위한 것이고, B2, CB2 실험체는 정, 부 반복가력에 대한 이력거동을 평가하기 위한 것이다. BF, CBF는 피로 실험체로 제작되었다.

B Type은 그림 1과 같이 보조플레이트(윙플레이트 등)로 보강하여 기둥을 용접하였다. CB Type은 그림 2와 같이 보조플레이트를 사용하지 않고 주강으로 제작된 베이스플레이트에 기둥을 직접 용접하여 제작하였으며, 하부에 요철을 두어 전단내력에 기여토록 하였다.

두 형태 모두 앵커에서 항복이 먼저 발생하도록 하는 앵커 항복형 모드로 설계하였고, 인장축과 압축축에 각각 2개씩 배치하였다. 그리고 레벨 조정용으로 기초 콘크리트 위에 무수

축몰탈 (설계 강도 500kgf/cm^2)을 50mm 시공하였다.

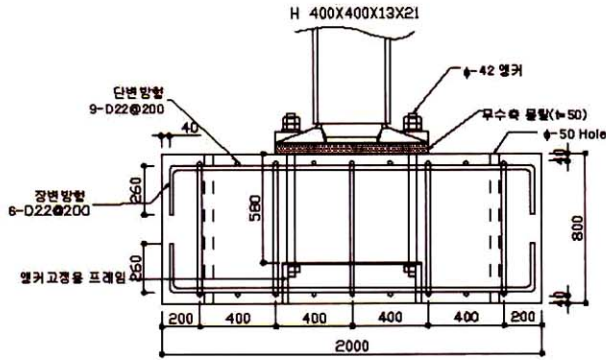


그림 6. 실험체 디테일

3.2 실험계획

실험체 설치는 그림 7과 같다. 실험체를 반력틀에 설치하고 가력을 위해 actuator를 반력벽에 고정시켜 반복이력하중을 가하였다. 실험체의 가력지점은 베이스플레이트 하부에서 1.4m이며, 이 부분에 외부 변위계를 설치하여 변위를 측정하였다. 기둥의 횡좌굴을 방지하기 위해 기둥 상하부 플랜지에 용접된 보조 플레이트에 베어링 장치를 설치하였고, 실험체 외부에 설치된 보조프레임내에서 거동하도록 하였다.

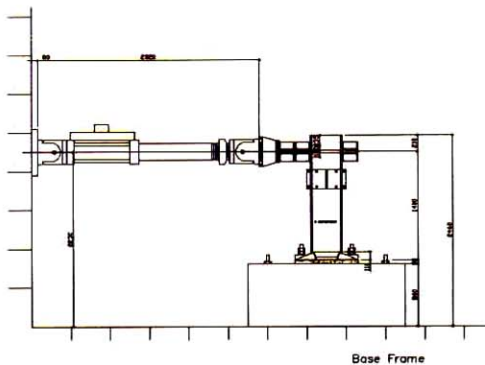


그림 7. 실험체 설치 상태



그림 8. 실험 전경

3.2.1 가력계획

가력은 100tonf actuator를 이용하여 정적 반복이력하중을 가하였다. 하중제어는 변위제어를 실시하였다. 반복이력하중 cycle은 그림 9와 같이 층간변위(Drift Ratio)를 기준으로 0.125%, 0.25%, 0.5%, 1%, 1.3%, 2%, 4%로 증가시켰고 각 사이클 별 2회씩 반복가력 하였다. 가력은 최대하중 도달 후에 하중이 감소하기 시작했을 때까지 진행하였다.

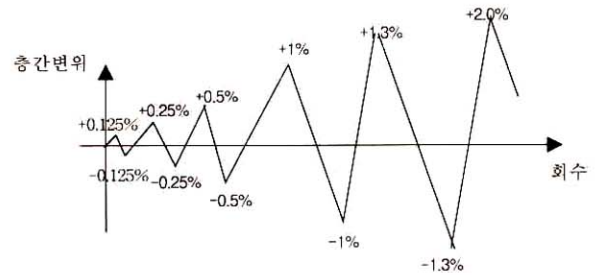


그림 9. 가력 스케줄

3.2.2 계측계획

접합부에서의 거동을 파악하기 위하여 변위계 및 스트레인 게이지를 설치하였다. 앵커볼트의 변형 및 항복여부를 확인하기 위하여 게이지를 설치하여 콘크리트에 매립하였다. 또한 주각부의 모멘트-회전각 거동을 분석하고 중립축을 산정하기 위하여 그림 10과 같이 인장측과 압축측 앵커볼트 윗면과 베이스플레이트에 변위계를 배치하였다. 기둥 부재의 전체 거동을 확인하기 위하여 실험체 외부에서 변위를 측정하였다.



그림 10. 변형 계측을 위한 보조 프레임

3.3 재료시험

3.3.1 앵커볼트

만능시험기(UTM)을 이용하여 3개의 Coupon에 대해서 시험을 실시하였다. 실험결과는 표 2와 같으며 응력-변형도 곡선은 그림 11과 같다.

표 2. 앵커볼트 재료 시험 결과

구분	F_y (tf/cm ²)	F_u (tf/cm ²)	E (tf/cm ²)	항복비 (F_y/F_u)
시편 1	3.22	5.13	2.19	0.62
시편 2	3.28	5.18	2.06	0.63
시편 3	3.32	5.19	2.18	0.64
평균	3.27	5.16	2.14	0.63

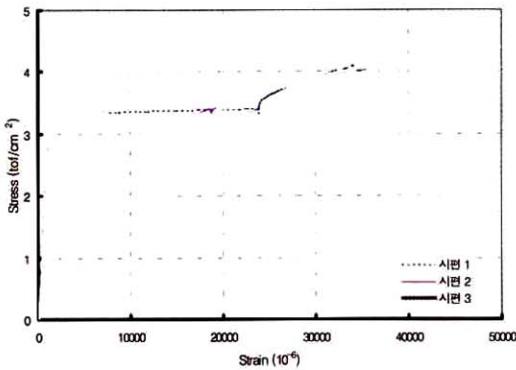


그림 11. 앵커볼트의 응력-변형도 곡선

3.3.2 주물시편

용접구조용 주강품인 SCW550에 대한 시험시편은 총 4개를 제작하여 일축 인장시험을 하였으며, 결과를 표 3에 나타내었고 응력-변형도 곡선은 그림 12와 같다.

표 3. 주강품의 기계적 성질

종류의 기호	항복강도 (tonf/cm ²)	인장강도 (tonf/cm ²)	연신율 %	샤르피 흡수에너지 J (kgf·m)	
				충격시 험온도	4호 시험편 3호 시험편
SCW550	3.6 이상	5.6 이상	18 이상	0℃	27(2.8)이상

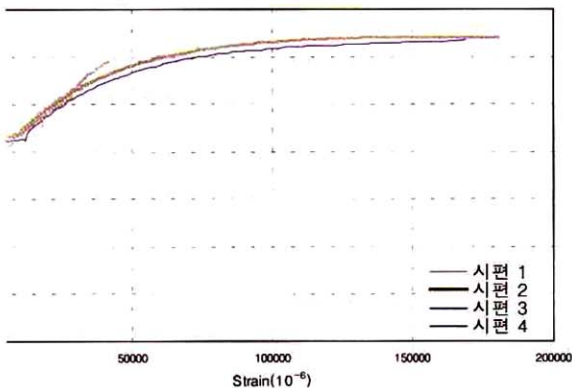


그림 12. 주물시편의 응력-변형도 곡선

4. 실험결과

4.1 일방향 반복가력(B1, CB1)

4.1.1 전체 거동

B1, CB1 실험체는 앵커볼트가 항복하고 최대내력 도달 후 하부 몰탈이 압괴되는 항복 모드를 나타내었고, 전체적인 거동은 동일한 양상으로 진행되었다. 두 실험체 모두 초기에 7-10tf 횡하중에서 앵커볼트가 이간되었고 휨강성이 다소 감소하였으며, 층간변위 1%에서 인장앵커가 항복하였고 그 후 내력증가 없이 일정구간 진행된 후, 최대하중 도달까지 내력이 다시 증가하는 전형적인 양상을 보였다. 최대하중 도달 후 하중이 감소하였을 때 실험을 종료하였다.

B1 실험체는 최대하중 도달 시까지 동일 변위의 반복하중에서도 내력이 감소하지 않는 안정적인 거동을 나타내었다. 앵커항복이후 압축측 몰탈에서 부분적으로 균열이 발생하였고, 층간변위 4% 이후에는 인장측 콘크리트가 일부 박리되었다. 최대하중 도달 직전에 압축측 몰탈에서 부분 압괴가 발생했으나 전체 거동에는 크게 영향을 주지 않았다. 베이스플레이트는 강체거동을 했고, 크게 변형이 발생하지 않았으며, 최대하중에서도 단면항복은 발생하지 않았지만, 그림 13에서와 같이 베이스플레이트 하부면과 몰탈의 부착력이 상실되면서 미끄러짐이 발생하였다.

CB1 실험체도 B1에서와 같이 안정적인 거동을 나타냈고, 항복하중 및 최대하중 도달 시까지 B1과 동일한 거동을 보였으며, 내력면에서도 거의 동일한 성능을 나타냈다. 층간변위 2%에서 베이스플레이트 하부면과 몰탈이 분리되었으나, 하부면의 요철로 인하여 미끄러짐은 발생치 않았다.



그림 13. 실험 종료 후 B1 실험체

4.1.2 모멘트-회전각 관계

B1, CB1 실험체 모두 앵커볼트 이간 전에는 큰 회전강성을 나타냈으며 이간 후에는 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이간모

멘트는 CB1이 B1보다 크게 나타났으나, 항복 모멘트에 비해 그 값이 작아서 전체 회전강성에 크게 기여하지 못 하였다. 두 실험체 모두 동일 변위 반복에서도 강성의 변화 없이 안정적인 거동을 나타냈다. 항복모멘트와 극한 모멘트는 B1이 크게 나타났으나, 큰 차이를 보이지 않았다.

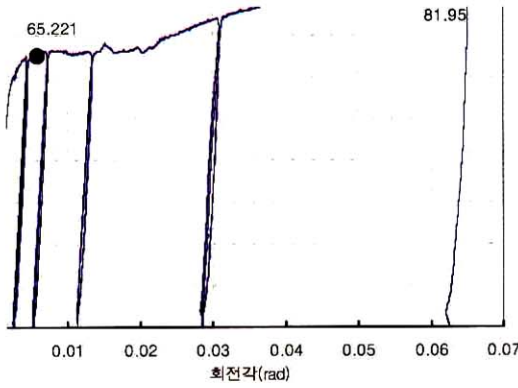


그림 14. B1의 모멘트-회전각 곡선

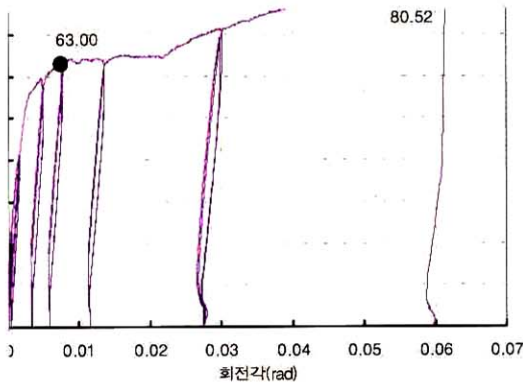


그림 15. CB1의 모멘트-회전각 곡선

4.2 정,부 반복가력(B2, CB2)

4.2.1 전체거동

일방향 가력에서와 같이 두 실험체가 앵커볼트 항복형 모드를 나타냈고, 전체 거동 또한 동일하게 진행되었다. 층간변위 1.3% 구간에서 인장측 앵커볼트가 항복하였고, 항복후 B2 실험체는 내력증가 없이 일정구간 진행되었으나, CB2 실험체는 내력이 작은 폭으로 계속 증가하였다. 앵커볼트 항복 시까지는 원점지향형의 복원력 특성을 나타냈으나, 앵커볼트 항복후 소성변형이 발생함에 따라 슬릿형 복원력 특성을 나타냈다. 또한 동일변위 반복에서도 내력이 저하되지 않는 안정적인 거동을 보였다.

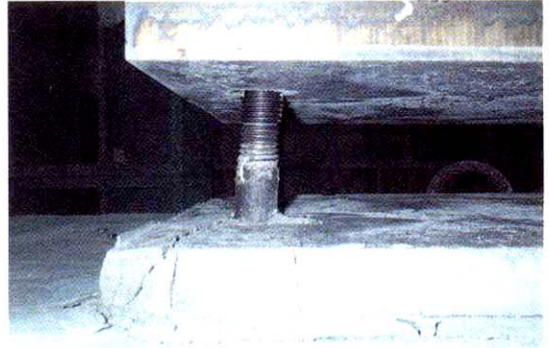


그림 16. 압축측 몰탈 균열 양상 (B2 실험체)

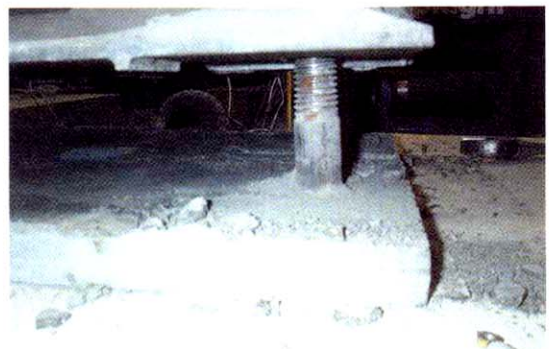


그림 17. 압축측 몰탈 균열 양상 (CB2 실험체)

4.2.2 모멘트-회전각 관계

B2, CB2 실험체 모두 앵커볼트 이간 전에는 큰 회전강성을 나타냈으며 이간 후에는 감소하는 것을 볼 수 있었다. 항복모멘트는 B2가 컸으나, 최대모멘트와 최대변위는 두 실험체가 거의 동일하게 나타났다. 회전강성은 원점과 항복점을 연결하는 할선강성이며, 두 실험체에서 큰 차이를 나타내지 않았다.

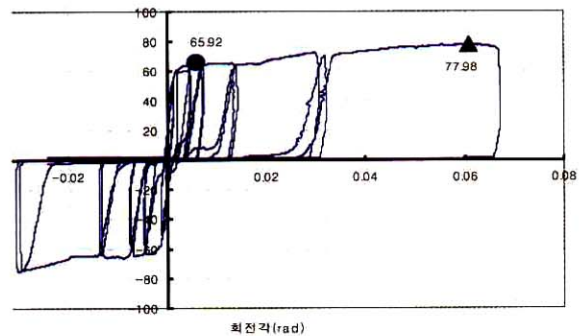


그림 18. B2의 모멘트-회전각 곡선

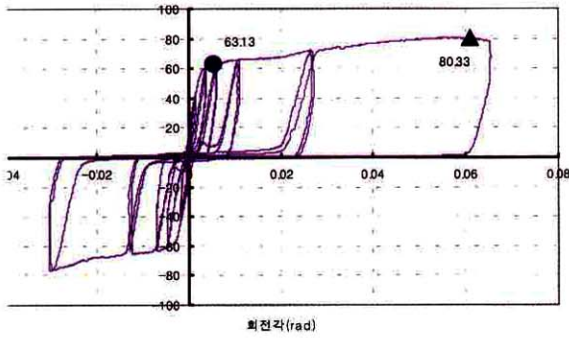


그림 19. CB2의 모멘트-회전각 곡선

4.3 반복 하중에 대한 사용성

4.3.1 개요

실제 구조물이 생애주기(Life-Cycle) 동안 받을 수 있는 반복하중의 횟수를 표 4 (AISC (1994), LRFD Vol 1.)와 같이 산정하여, 산정된 횟수의 반복하중에 대한 두 비교 실험체의 특성을 분석하였다. $2/3P_y$ 의 하중에 대해서 총 100,000회의 반복가력을 수행하였고, 1,000회, 10,000회, 30,000회, 60,000회 가력 후 각각 강성 변화를 확인하였다. 총 100,000회 가력 후 일방향 가력을 통해서 종국내력을 확인하였다.

표 4. 반복하중의 횟수

하중조건	반복하중 횟수	비고
1	20,000~100,000	25년동안 매일 2~10회 작용
2	100,000~500,000	25년동안 매일 10~50회 작용
3	500,000~2,000,000	25년동안 매일 50~200회 작용
4	2,000,000 이상	

4.3.2 실험결과

반복 하중의 횟수가 증가함에 따라 BF, CBF 실험체에서 강성의 변화는 없었고, 용접부에서의 균열도 발생치 않았다.

다음의 그림 20과 21은 100,000회 반복 하중 가력 후 일방향 가력한 실험체와 피로 반복 가력 없이 일방향 가력한 실험체를 비교한 것이다.

BF 실험체는 피로 반복 후 초기 강성과 항복내력에는 큰 변화가 없었지만, 앵커 항복 후 일정구간 하중의 증가 없이 진행 되고 이후 내력이 다시 증가 하는 구간 (회전각 0.02

-0.047 rad)에서 취성 파괴가 발생하여 극한내력이 저하되었고, 연성도 크게 떨어지는 것으로 나타났다. CBF 실험체는 피로 반복 후에도 강성과 항복내력에서 큰 변화를 나타내지 않는 안정적인 거동을 나타냈다.

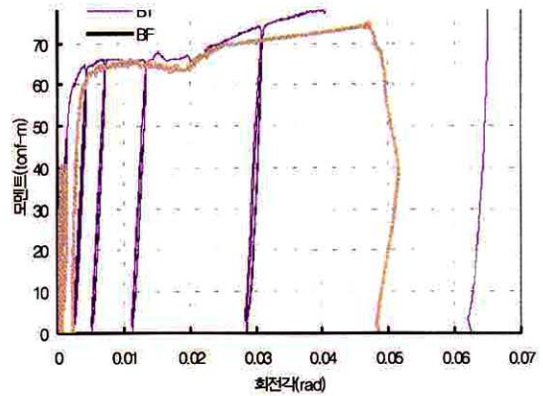


그림 20. BF의 모멘트-회전각 곡선

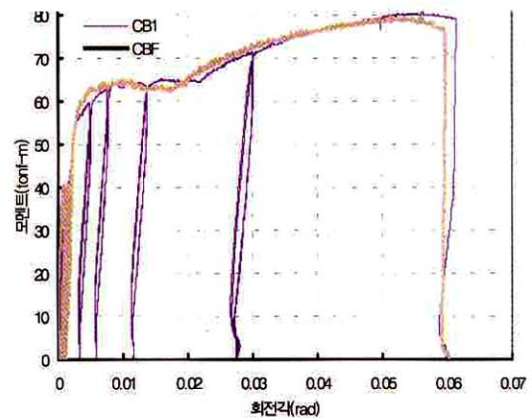


그림 21. CBF의 모멘트-회전각 곡선

5. 결과 분석

5.1 내력

항복내력은 인장측 앵커의 항복 시점을 기준으로 결정하였으며, 최대내력은 최대하중 도달 시의 휨내력으로 결정하였다. 각 실험체의 내력 및 제안식에 의한 결과를 표 5에 정리하였다.

내력의 제안식은 B type 실험체에는 秋山식을, CB type 실험체에는 佐藤식을 적용하였다. B type 실험체는 항복내력은 秋山식보다 높게 평가 되었으나, 최대내력은 제안식에 근사하게 나타났다. CB type 실험체의 항복내력과 최대내력은

佐藤식으로 잘 맞는 것으로 나타났다.

있는 것을 알 수 있다.

표 5. 각 실험체의 내력 및 강성

구 분		B1	CB1	B2	CB2	BF	CBF
M_y (항복내력, tonf-m)	실험값	65.22	63.00	65.92	63.13	63.19	62.96
	秋山식 (B type), 佐藤식 (CB type)	47.11	63.93	47.11	63.93	47.11	63.93
M_u (최대내력, tonf-m)	실험값	81.95	80.52	77.88	80.33	74.84	79.18
	秋山식 (B type), 佐藤식 (CB type)	74.34	83.80	74.34	83.80	74.34	83.80
K (회전강성, tonf-m/rad)	실험값	1.12×10^4	1.15×10^4	1.14×10^4	1.12×10^4	1.12×10^4	1.18×10^4
	秋山식	1.36×10^4					
	佐藤식	1.67×10^4					
	増田식	1.81×10^4					

5.2 회전강성

각 실험체의 회전각은 그림 22와 같이 산정되었고, 회전강성은 원점과 항복점을 연결하는 할선강성을 적용하였다. 그 결과를 표 5에 정리하였다. 실험결과와 제안식 간에 다소 차이가 있었으며, 秋山식이 가장 실험값에 근사하였다.

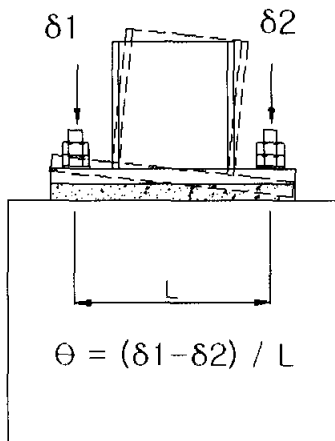


그림 22. 회전각의 정의

5.3 에너지 소산

그림 23은 각 실험체의 에너지 소산능력을 평가하기 위해 파괴시 까지 누적 외부일을 나타낸 것으로, X축은 실험체가 경험한 누적 회전변형량을 나타내고 Y축은 모멘트-회전각 선의 내부 면적의 누적량으로 누적 외부일을 나타내는데, 비교 결과 두 실험체가 거의 비슷한 에너지 소산 능력을 보유하고

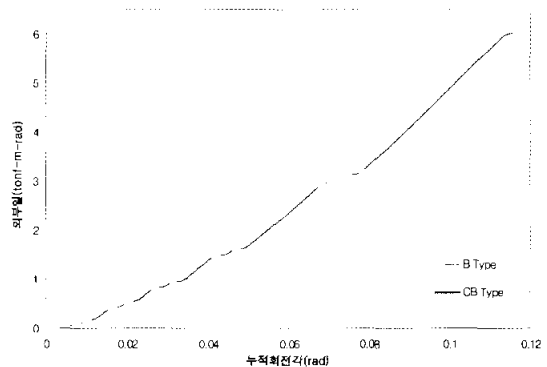


그림 23. 실험체의 에너지 소산 능력

6. 결론

본 연구에서는 응력의 흐름에 따라 변단면을 가지는 주강제 주각부(CB type)를 개발하여 기존의 원플레이트와 리브 플레이트를 가지는 주각부(B type)와의 성능을 비교 평가하는 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 일방향 반복가력에서는 두 실험체 (B1, CB1) 모두 앵커볼트가 항복하고 최대내력 도달 후 하부 몰탈이 압괴되는 항복 모드를 나타내었고, 전체적인 거동은 동일한 양상으로 진행되었다. 베이스플레이트와 몰탈 분리 후 B1에서는 미끄러짐이 발생하였으나, CB1은 베이스플레이트 미끄러짐이 발생하지 않았는데, 이는 하부의 요철이 전단내력에 기여하는 것으로 분석된다. 내력과 강성면에서 두 실험체가 큰 차이를 보이지 않고 동등한 성능을 나타냈다.

- (2) 정, 부 반복가력에서도 두 실험체 (B2, CB2)가 앵커볼트 항복 모드를 나타냈고, 전체 거동 또한 동일한 양상으로 진행되었다. 앵커볼트 항복까지는 원점지향형의 복원력 특성을 나타냈으나, 앵커볼트 항복 후 소성 변형이 발생함에 따라 슬릿형 복원력 특성을 나타냈다. 주강재 주각부의 내력은 기존 佐藤의 제안식과 잘 일치하였으나, 회전강성은 각 제안식보다 작게 나타났다.
- (3) 100,000회 반복하중 평가에서는 반복 하중이 증가에 따른 BF, CBF 실험체에서 강성의 변화는 없었고, BF 실험체는 초기 강성과 항복내력은 일방향 반복 실험체 B1과 큰 차이가 없었지만, 앵커 항복 후 취성 파괴가 발생하여 최대내력이 저하되었다. CBF 실험체는 강성과 내력면에서 CB1 실험체와 큰 차이를 나타내지 않는 안정적인 거동을 나타냈다.

이상의 실험을 통해 주강재 주각부와 기존의 주각부의 구조적 성능을 비교하였을 때 내력과 강성면에서 동등한 성능을 보유하고 있는 것으로 나타났고, 사용하중의 반복가력에서는 내력과 연성면에서 주강재 주각부가 안정적인 거동을 하는 것

으로 평가되었다.

참 고 문 헌

한국강구조학회(1996), 강구조 건축물의 설계, 강구조편람, 제3권, 한국강구조학회, pp. 317-329

秋山宏,(1991) 鐵骨柱脚の耐震設計, 技報堂出版, 日本

佐藤邦昭等, 鑄鋼製柱脚金物HIBASEを用いた柱脚の定着に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集(昭和53年, pp.1287-1288)

佐藤邦昭等, 鑄鋼製柱脚金物HIBASEを用いた露出型柱脚の研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集(昭和59年, pp.1229-1230)

AISC(1994), Load & Resistance Factor Design Vol.1, pp. 6-135

(접수일자 : 2004. 11. 15 / 심사일 2004. 11. 23 /
심사완료일 2005. 2. 10)