



# L형 갈고리 앵커볼트를 사용한 약축방향 노출형 주각부의 내진성능 평가

임우영<sup>1\*</sup> · 유영찬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>조교수, 원광대학교, 건축공학과, <sup>2</sup>선임연구위원, 한국건설기술연구원, 건축도시연구소

## Seismic Evaluation of Exposed Column-base Plate Weak-axis Connections Using L-shaped Hooked Anchor Bolts

Lim, Woo-Young<sup>1\*</sup>, You, Young-Chan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan, 54538, Korea

<sup>2</sup>Senior Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Building and Urban Research Institute, Goyang, 10223, Korea

**Abstract** - In this study, seismic performance was evaluated for the exposed column-base plate weak-axis connections of small size steel structures through cyclic loading tests. The primary test parameters are the thickness of base plate, the presence of rib plates, the number of anchor bolts and embedment length of anchor bolts. To investigate the effect of bond performance of anchor bolts on the seismic performance of column-base plate connections, L-shaped round bars and thread bars were used as the hooked anchor bolts in the test specimens. Test results showed that bond performance of anchor bolts and the thickness of base plate significantly affect the structural performance and energy dissipation capacity. In particular, it was found that even if the requirements for minimum thickness of the base plate that is satisfied, the base plate can yield before the capacity of steel column reaches the plastic moment resulting in decreasing the structural performance of the connections. However, the proposed details of the connections might be considered as the partially restrained, that is semi-rigid connections. Consequently, the L-shaped thread anchor bolts is applicable in the exposed column-base plate weak-axis connections of small-size steel structures.

**Keywords** - Small-size steel structures, Exposed column-base plate connections, Weak-axis, Seismic performance, Hooked anchor bolts, Semi-rigid connection

### 1. 서론

국내 기존 건축물 중 내진설계 의무대상에서 제외되는 소규모 건축물의 비중은 전체 건축물의 85%를 차지하고 있다<sup>[1]</sup>. 여기서, 소규모 건축물은 층수가 2층 이하이고 연면적 500m<sup>2</sup> 미만인 건축물을 의미한다<sup>[2]</sup>. 소규모 건축물에 대한 현행 구조 규칙은 별도의 구조계산 없이도 건축물의 최소 안전성을 확보할 수 있도록 최소 요구사항을 제시하고 있다<sup>[2]</sup>. 하지

만, 이러한 규정은 지진에 대한 특별 고려사항이 반영되지 않은 것으로 증가되는 지진위험을 고려하면 구조안전 확보에 매우 부족한 것으로 여겨지고 있다. 따라서 국내 소규모 건축물의 적절한 내진 안전성을 확보하기 위한 세부 기준을 마련하는 것이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 국내 소규모 철골조 건축물 중 노출형 주각부에 대한 현황조사와 분석을 통해 현장 시공된 다양한 상세를 가진 약축방향 주각부에 대한 내진성능을 평가하고자 한다. 노출형 주각부는 기둥과 기초 사이의 접합부를 의미하며, 기둥과 베이스 플레이트, 그라우팅 콘크리트, 기초부로 구성되어 있다. 주각부는 앵커볼트에 의해 기초부에 정착된다. 일반적으로 노출형 주각부는 베이스 플레이트가 기초면 위에서 접합된 것을 의미한다. 이러한 주각부는 상부 구조물의 하중을 기초를 통하여 지반에 전달하는 역할을 한다. 특

Note.-Discussion open until February 28, 2018. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on December 1, 2016; revised May 16, 2017; approved on June 23, 2017.

Copyright © 2017 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-63-850-6866 Fax. +82-63-843-0782

E-mail. [wylim97@wku.ac.kr](mailto:wylim97@wku.ac.kr)

히, 베이스 플레이트는 기초부에서 발생하는 반력을 충분히 지지할 수 있도록 설계되어야 하며, 일반적으로 기둥보다 큰 하중지지 면적을 가진다.

현행 강구조 기준<sup>[3],[4],[5],[6],[7]</sup>에서는 주각부에 대해 허용응력설계법과 한계상태설계법을 이용한 설계방법을 제시하고 있다. 하지만 실제 국내 현장에서는 소규모 건축물의 설계·시공의 영세성으로 인하여 구조안전성에 대한 검토없이 결합상세를 가진 주각부가 설계·시공되고 있는 실정이다. 이에 따라, 본 연구에서는 국내 소규모 철골조 주각부 상세를 파악하기 위해 현황조사를 실시하였다.

Fig. 1은 국내 소규모 철골조 건축물의 전형적인 주각부 상세를 보여준다. 현황 조사 결과에 따르면, 앵커볼트가 강재 기둥 플랜지 사이에 위치하는 경우가 다수 확인되었고, 앵커볼트는 일반적으로 2개 또는 4개가 사용되며(Fig. 1(a) 참조), 베이스 플레이트의 두께에 따라 리브플레이트가 있는 경우와 없는 경우 모두 실제 시공되고 있었다(Fig. 1(a), (b) 참조). 베이스 플레이트의 경우, 기둥과 같은 크기의 베이스 플레이트를 사용하거나 얇은 두께의 베이스 플레이트 사용으로 인해 휨성능을 확보하기 어려운 상세도 확인하였다(Fig. 1(c), (d) 참조).

이러한 상세를 가진 주각부는 강·약축 방향 모두 지점에서 고정조건을 확보하기 어려운 상세이며, 주각부가 보-기둥 접합부와 조합되면 지점과 접합부가 모두 핀접합으로 이루어져 역학적으로 불안정한 구조물이 될 수 있다. 이러한

문제점을 해결하기 위해서는 고정 주각부를 사용하거나, 완전 강접합된 보-기둥 접합부를 사용하여 주각부 또는 접합부를 강접합으로 처리할 수 있다. 하지만, 소규모 철골조에 이러한 방법을 적용하기에는 다소 비경제적일 것으로 판단된다. 따라서 국내 소규모 철골조에 적용가능한 주각부 상세를 제시하는 것이 무엇보다 필요하며, 제안된 주각부의 내진성능에 대한 검토가 필요하다.

기존의 노출형 주각부에 대한 많은 연구는 대부분 기둥단면의 강축방향 주각부 설계에 초점을 맞추고 있다<sup>[8],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15],[16]</sup>. 하지만 축하중과 횡하중을 동시에 받는 약축방향 주각부에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히, 현황조사를 바탕으로 기존 철골조 건축물에 실제로 시공된 약축방향 노출형 주각부에 대한 반복가력 실험연구는 국내·외적으로 수행된 적이 거의 없다. 따라서 국내 소규모 철골조 건축물에 적용 가능한 주각부를 제시하기 위해서는 약축방향 주각부에 대한 성능 검토도 필요하다.

이 연구에서는 기존 소규모 철골조에서 나타나는 현장상세 노출형 주각부와 이를 보완한 상세를 가진 약축방향 주각부에 대한 반복가력 실험을 통해 다양한 상세를 가진 노출형 주각부의 내진성능을 평가하고자 한다.

## 2. 현행 철골조 노출형 주각부 설계기준

현행 구조기준에 따르면, 주각부는 기둥의 하중과 모멘트를 기초에 전달할 수 있도록 설계되어야 한다<sup>[4],[5],[7]</sup>. 콘크리트 단면의 일부분이 지압을 받는 경우, 콘크리트의 설계지압강도  $\phi_c P_p$  ( $\phi_c = 0.65$ )는 콘크리트 압괴의 한계상태에 대하여 다음 식 (1)과 같이 산정한다.

$$P_p = 0.85f_{ck}A_1\sqrt{A_2/A_1} \leq 1.7f_{ck}A_1 \quad (1)$$

여기서,  $f_{ck}$ 는 콘크리트 압축강도,  $A_1$ 은 베이스플레이트의 면적이고  $A_2$ 는 베이스플레이트와 얇은꼴의 콘크리트 지지부분의 최대면적이다.

Fig. 2는 베이스 플레이트의 설계변수를 보여준다. 여기서,  $B$ 와  $D$ 는 베이스 플레이트의 폭,  $b_f$ 는 플랜지의 폭,  $d$ 는 플랜지 양단 사이의 거리,  $m = (D - 0.95d)/2$ ,  $n = (B - 0.8b_f)/2$ 이다. 베이스 플레이트의 최소두께는 한계상태설계법과 허용응력설계법에 의해 다음 식 (2)와 (3)으로 구할 수 있다<sup>[5]</sup>.

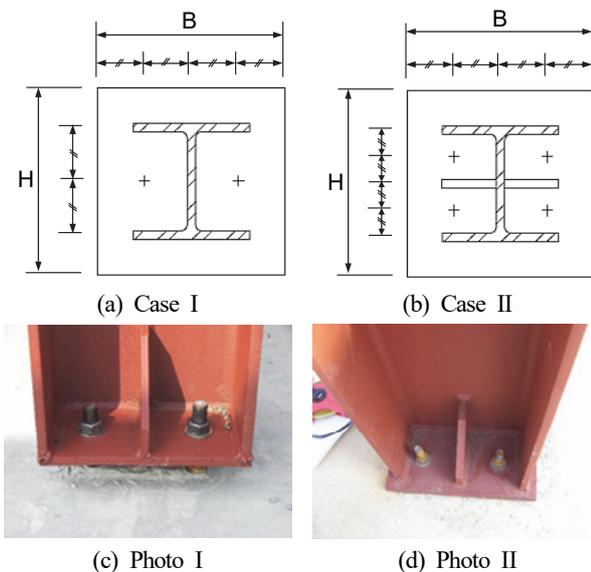


Fig. 1. Investigation of exposed steel column base plate connection in existing small-size steel structures

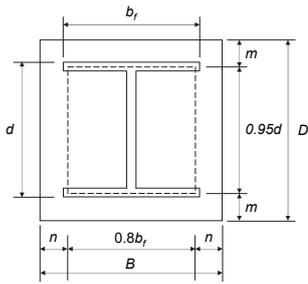


Fig. 2. Base-plate design variables

$$t_{\min} = l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_yBN}} \text{ (LRFD)} \quad (2)$$

$$t_{\min} = l \sqrt{\frac{3.33P_u}{F_yBN}} \text{ (ASD)} \quad (3)$$

여기서,  $l$ 은 베이스 플레이트의 돌출길이  $m$ 과  $n$ , 그리고 축력이 작용하는 유효 H단면의 돌출길이  $\lambda'_n$  중에서 가장 큰 값을 정한다. AISC (2005)에서 제기하고 있는 축력이 작용하는 유효 H단면의 돌출길이  $\lambda'_n$ 은 다음 식 (4)로 구한다.

$$\lambda'_n = \left( \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1-X}} \right) \sqrt{db_f/4} \quad (4)$$

여기서,  $X = 4db_fP_u / (d + b_f)^2 \phi_B P_p$ 이고,  $\phi_B$ 는 0.6이다.

앵커볼트는 주각부의 베이스플레이트를 통해 전달되는 인장 및 전단하중에 대해 저항할 수 있도록 설계해야 하며, 콘크리트 내 정착 규정은 콘크리트구조기준<sup>[17],[18]</sup>을 따라야 한다. 기본 정착길이( $l_{hb}$ )는 다음 식 (5)와 같이 구한다.

$$l_{hb} = \frac{0.24\beta d_b f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \quad (5)$$

여기서,  $\beta$ 는 철근 도막계수,  $\lambda$ 는 경량콘크리트 계수이며, 보통중량 콘크리트의  $\lambda$ 는 1.0이다. 다만, 식 (5)로 구한 정착길이는 항상  $8d_b$  이상 또는 150mm 이상이어야 한다.

콘크리트 구조설계 기준<sup>[17],[18]</sup>에서는 180° 표준갈고리와 90° 표준갈고리를 인장 이형철근의 표준 갈고리로 제시하고 있으며, 특히, 단부에 90° 표준갈고리가 있는 인장 이형철근은 구부린 끝에서  $12d_b$  이상 더 연장되도록 해야한다.

한편, 소규모 건축물 구조지침<sup>[2]</sup>에 따르면, 강재기둥의

주각부는 모멘트를 기초에 전달하는 고정주각으로 설계하여야 한다고 규정되어 있다. 주각부 베이스 플레이트의 크기는 앵커볼트의 위치를 고려하여 기둥형강의 각 방향 폭 보다 150mm이상 크게 하고, 두께는 2층 건물의 경우는 30mm이상, 1층 건물의 경우는 20mm이상을 적용한다. 앵커볼트의 크기와 개수는 2층 건물의 경우 직경 22mm 이상의 앵커볼트를 6개 이상 사용하고, 1층 건물의 경우 직경 20mm 이상의 앵커볼트를 6개 이상 사용한다. 앵커볼트의 정착은 기초의 하부까지 직경의 30배 이상 연장되어 후크형태로 기초에 정착하여야한다.

### 3. 실험 프로그램

#### 3.1 실험체 상세

약축방향 주각부의 내진성능을 조사하기 위해 총 7개의 실험체에 대해 반복가력 실험을 수행하였다. Fig. 3은 실험체 상세를 보여준다. 주각부는 연성파괴가 발생하도록 AISC 설계기준<sup>[3],[4],[5]</sup>에 의해 설계되었다. H형 단면을 가진 강재 기둥 (SS400,  $F_y = 235\text{MPa}$ )의 크기는 H-300×300×10×15mm이며, 높이는 1000mm이다. 여기서  $F_y$ 는 강재 기둥 제작에 사용된 재료의 설계항복강도이다. 앵커볼트의 지름은 22mm이고 SM45C 강종( $F_t=700\text{MPa}$ )이 사용되었다. 콘크리트 기초의 평면 크기는 800×800mm이고 높이는 775mm이다. 이때, 기초에 사용된 콘크리트의 설계압축강도는 24MPa이다. 주각부의 파괴모드를 보다 효과적으로 조사하기 위해 베이스 플레이트와 기초부 콘크리트 사이에 모르타르 채움은 수행되지 않았다.

앵커볼트의 지름은 22mm이고 SM45C 강종( $F_t=700\text{MPa}$ )이 사용되었다. 나사산이 있는 앵커볼트는 지름이 24mm인 강봉에 1mm 깊이의 나사산을 공장에서 제작 생산하여 나사산이 없는 강봉의 단면적과 동일한 단면적을 갖도록 하였다.

실험체 변수는 베이스 플레이트의 두께, 앵커볼트의 개수와 매립깊이, 그리고 리브 플레이트의 유무이다(Table 1 참조). Wdf1과 Wdf2 실험체는 국내 소규모 철골조 현황조사에서 얻은 자료에서 구한 실제 시공된 약축방향 노출형 주각부를 나타낸다. Wdf1과 Wdf2 실험체의 경우, 베이스 플레이트의 크기는 400×400mm이고 두께는 20mm이다. 주각부 고정을 위해 총 4개의 앵커볼트가 사용되었고, 앵커볼트의 매립깊이는 500mm이다. 앵커볼트 후크의 길이는 264mm

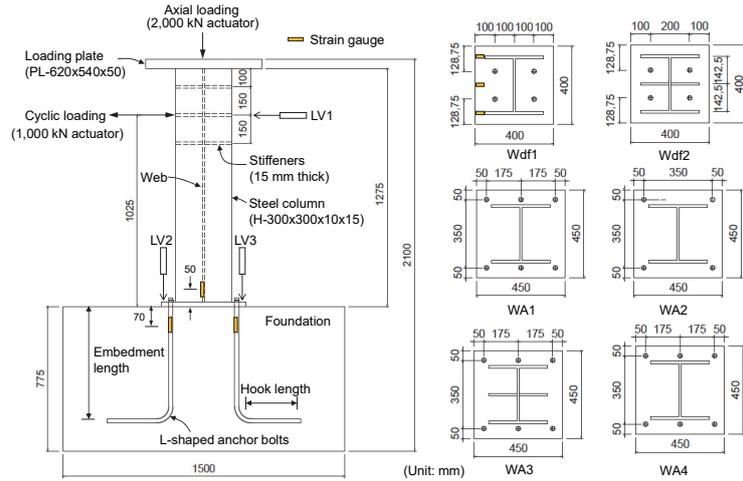


Fig. 3. Details of test specimens

Table 1. Properties of test specimens

Specimens	Base plate		Anchor bolt			No. of rib plates
	Dimension (mm)	Thickness (mm)	No. (EA)	Embedment length (mm)	Hook length (mm)	
Wdf1	400×400	20	4	500	264	-
Wdf2	400×400	20	4	500	264	2
WA1	450×450	25	6	650	264	-
WA2	450×450	25	4	650	264	-
WA3	450×450	25	6	650	264	2
WA4	450×450	30	6	650	264	-

Note: In Wdf1, Wdf2, WA1, and WA2 specimen, round bars with a diameter of 22 mm were used as the anchor bolts. On the other hand, in WA3 and WA4 specimen, thread bars with an effective diameter of 22 mm were used.

이고, Wdf2에는 2개의 리브 플레이트가 웹 중앙부에 추가로 설치되었다. WA 계열 실험체의 경우, 베이스 플레이트의 두께는 450×450mm이며, 앵커볼트의 매립깊이는 650mm, 그리고 앵커볼트 후크의 길이는 264mm로 동일하다. WA1, WA2, WA3 실험체의 경우, 베이스 플레이트 두께는 25mm 이고, WA4 실험체의 베이스 플레이트 두께는 30mm이다. WA1, WA2, WA4 실험체에는 리브 플레이트가 설치되지 않았고, WA3 실험체는 2개의 리브 플레이트가 설치되었다. WA2 실험체는 4개의 앵커볼트가 사용되었으며, 그 밖에, WA1, WA3, 그리고 WA4 실험체에는 총 6개의 앵커볼트가 설치되었다. WA3와 WA4 실험체를 제외한 나머지 모든 실험체의 앵커볼트는 원형강봉이 사용되었으며, WA3와 WA4

실험체는 나사산이 있는 L형 갈고리 앵커볼트가 사용되었다.

### 3.2 실험체 셋업 및 계측계획

실험체는 1000kN 용량의 액츄에이터를 사용해 기초부 상부에서부터 1000mm 거리에서 횡력을 가력하였으며, 동시에 2000kN 용량의 동적 액츄에이터를 사용하여 0.15F<sub>y</sub>A<sub>g</sub> (=413kN) 크기의 축력을 가하였다. 축력 재하를 위해 기둥 상부에 두께 50mm의 강판을 추가로 공장 용접하였다.

Fig. 4는 하중 가력 이력곡선을 보여준다. 첫 번째 스텝(6cycles)은 회전각( $\theta$ ) 0.00375rad( $\Delta=3.75$ mm), 두 번째 스텝(6cycles)은 0.0075rad(7.5mm), 세 번째 스텝(6cycles)은 0.015rad(15mm), 네 번째 스텝(4cycles)은 0.01rad(10mm), 다섯 번째 스텝(2cycles)은 0.02rad(20mm), 여섯 번째 스텝(2cycles)부터는 0.01rad씩 증가시키며 반복가력하였다<sup>[6]</sup>. 여기서,  $\theta$ 는 회전각을 나타내며,  $\Delta$ 는 LVDT에 의해 측정된 횡변위(mm)이다.

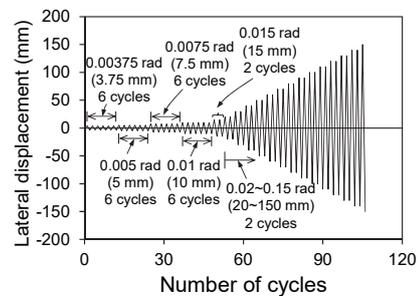


Fig. 4. Loading history

실험체의 변형률과 변위는 스트레인 게이지와 변위계(LVDT)에 의해 측정되었다. 스트레인 게이지의 부착위치와 LVDT 설치 위치는 Fig. 3에 나타나있다. 베이스 플레이트의 변형률을 측정하기 위해 Fig. 3에 보이는 바와 같이 3개의 스트레인 게이지가 사용되었다. 강재기둥 플랜지의 변형률은 기초부에서 50mm 위치에서 측정되었다. 기둥의 횡변위는 기초 표면으로부터 1000mm 되는 위치에서 LV1에 의해 측정되었다. 아울러, LV2와 LV3은 베이스 플레이트의 수직변형을 측정하기 위해 베이스 플레이트 상부에 설치되었다.

### 3.3 사용재료

강재의 물성치를 구하기 위해 KS B 0801 (2007)<sup>[19]</sup>, KS B 0802 (2003)<sup>[20]</sup>에 의해 인장시험이 수행되었다. Table 2는 실험체별로 사용된 강재의 물성치를 나타낸다. 모든 실험체에는 SS400 강종이 사용되었고, 앵커볼트는 나사산의 유무와는 상관없이 모두 SM45C 강종이 사용되었다. 재료시험은 Wdf 계열의 실험체, WA1, 그리고 WA2 실험체에 사용된 강재와 WA3과 WA4 실험체 사용된 강재를 나누어 수행하였다. 실험결과, 동일한 강종을 사용한 베이스 플레이트와 플랜지, 그리고 웨브는 모두 유사한 결과값을 보여주었으나, 앵커볼트의

경우, 원형강봉일 때의 항복강도는 608.7MPa였으며, 지름 24mm의 원형강봉에 1mm 깊이의 나사산을 둔 WA3, WA4 실험체에 사용된 앵커볼트의 항복강도는 414MPa로 나타났다.

## 4. 앵커볼트 인발실험

AISC 구조기준<sup>[3],[4],[5]</sup>에 따르면, 앵커볼트는 주각부의 베이스 플레이트를 통해 전달되는 인장 및 전단하중에 대해 저항할 수 있도록 설계해야 하며, 콘크리트 내 정착 규정은 콘크리트구조기준을 따라야 한다. 콘크리트 구조기준<sup>[17],[18]</sup>에 의하면, 표준갈고리를 갖는 이형철근의 정착길이는 항상  $8d_b$  이상 또는 150mm 이상이어야 한다. 여기서,  $d_b$ 는 철근 또는 앵커볼트의 지름을 의미한다. 반면에, 국내 소규모 건축물 구조지침<sup>[2]</sup>에서는 콘크리트 구조기준<sup>[17],[18]</sup>에서 제시하고 있는 앵커볼트 설계기준에 비해 매우 간편한 방법으로 앵커볼트 설계방법을 제시하고 있다. 소규모 건축물 구조지침에 따르면, 앵커볼트의 정착은 기초의 하부까지 직경의 30배(=  $30d_b$ ) 이상 연장되어 후크형태로 기초에 정착하여야 한다.

본 연구에서는 앵커볼트의 개수와 부착성능에 따른 주각부의 구조성능을 알아보기 위해 원형강봉과 나사산이 있는 강봉을 앵커볼트로 사용하였다. 현행 구조기준에서는 이형철근에 대한 부착성능만이 제시되어 있으므로, 원형강봉과 나사산이 있는 강봉의 부착성능을 평가할 필요가 있다.

앵커볼트의 부착성능을 알아보기 위해 후크가 설치된 원형강봉, 나사산이 있는 강봉의 반복가력 인발실험을 수행하였다. 실험체 사용된 앵커볼트는 SM45C 강종이 사용되었고, 지름은 22mm이다. 여기서, 나사산이 있는 앵커볼트의 경우, 지름 24mm의 원형강봉에 1mm 깊이의 나사산을 제작하였다. 따라서, 나사산이 있는 앵커볼트의 유효지름은 22mm으로 원형강봉과 동일하다. 앵커볼트의 매립깊이는 RB1과 TB 실험체는  $452\text{mm}(=21d_b)$ 이고, RB2 실험체는  $650\text{mm}(=30d_b)$ 이다. RB1과 TB 실험체의 매립깊이는 콘크리트 구조기준<sup>[17],[18]</sup>에 의해, RB2 실험체의 매립깊이는 소규모 건축물 구조지침<sup>[2]</sup>에 의해 산정되었다. 모든 실험체의 후크길이는  $264\text{mm}(=12d_b)$ 이다. 이때 기초에 사용된 콘크리트의 압축강도( $f'_c$ )는 19.7MPa이다.

Fig. 5(a)는 앵커볼트 인발실험을 위한 실험체 세팅을 보여준다. 기초부 상단에 유압잭 설치를 위한 지그를 설치하였고, 유압잭에 앵커볼트에 직접 연결하여 반복가력하였다.

Table 2. Material properties

Specimens	Members	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Elongation (%)	
Wdf1 Wdf2 WA1 WA2	Base plate (SS400)	250.0	422.9	196.1	35.4	
	Steel column (SS400)	Flange (15mm)	329.0	476.4	203.8	32.0
		Web (10mm)	332.2	498.2	206.2	30.2
	Anchor bolt (SM45C)	608.7	757.2	201.6	10.8	
WA3 and WA4	Base plate (SS400)	25mm	243.7	440.7	170.7	28.7
		30mm	296.7	523.1	151.5	26.6
	Steel column (SS400)	Flange (15mm)	299.3	458.1	202.8	41.1
		Web (10mm)	324.8	179.2	199.6	37.3
	Anchor bolt (SM45C)	414.0	577.4	123.9	4.2	

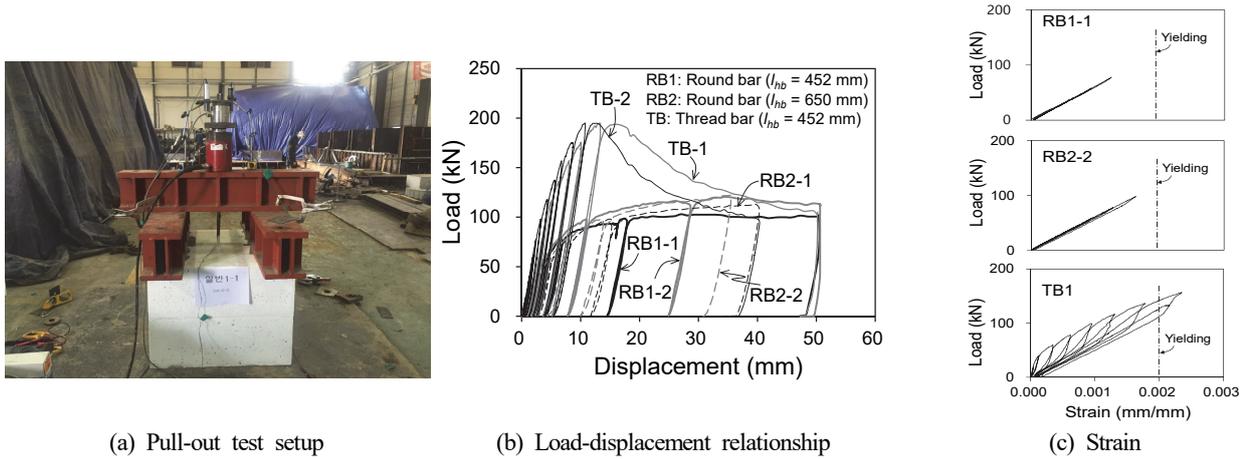


Fig. 5. Pull-out tests

반복가력 시 하중은 Fig. 4에 나타난 하중가력곡선을 사용하였다. 이때 부가력 방향으로 가력하지 않았다. 변위는 유압잭의 로드셀 상부에 설치된 변위계(LVDT)에 의해 측정되었으며, 앵커볼트의 변형률은 스트레인 게이지에 의해 측정되었다. Fig. 5(b)는 실험에 사용된 앵커볼트 인발실험에서 구해진 하중-변위 관계를 보여준다. 원형강봉은 뽑힘현상이 실험초기에 발생하였으나 후크로 인해 변위가 증가할수록 하중은 증가하는 것으로 나타났다. 반면에, 나사산이 있는 강봉은 최대하중에 도달한 이후 나사산과 콘크리트 사이의 부착성능의 상실로 인해 서서히 뽑혀져 올라오면서 하중이 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 5(c)는 앵커볼트의 변형률을 보여준다. 나사산이 없는 앵커볼트인 RB1-1과 RB2-2는 항복하지 않는 것으로 나타났으며, 나사산이 있는 앵커볼트인 TB1은 최대 뽑힘강도에 도달하기 전 항복하는 것으로

나타났다.

RB1 실험체와 RB2 실험체의 최대 하중은 매우 유사하게 나타났다. Table 3은 앵커볼트 인발실험 결과를 보여준다. 매립깊이가 452mm인 RB1 실험체의 평균 최대하중은 약 111.8kN이었고, 650mm인 RB2 실험체의 경우, 최대하중은 평균 117.3kN으로 나타났다. 하지만 나사산이 있는 TB 실험체의 최대하중(195.1kN)은 RB1과 RB2 실험체에 비해 각각 75%, 66% 큰 값을 나타냈다. ACI 318-14 (2014)<sup>[17]</sup>와 KCI 2012 (2012)<sup>[18]</sup>에 따르면, 단일 갈고리볼트가 인장력을 받는 경우 뽑힘강도  $N_p$ 는 다음 식 (6)의 값 이하이어야 한다.

$$N_p = 0.9f_{ck}e_h d_b \tag{6}$$

여기서,  $e_h$ 는 갈고리볼트의 안쪽면부터 볼트의 바깥쪽 끝까지

Table 3. Summary of pull-out tests and material tests

Specimens	Anchor bolts					Concrete foundation		Bond strength (kN)	
	Class	Development length (mm)	Hook length (mm)	Yield strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)	Dimension of concrete foundation (mm)	Concrete strength (MPa)	Measured	Mean
RB1	SM45C	452 (21db)	264 (12db)	692.2	196.3	800×800×600	19.7	RB1-1: 102.9	111.8
RB2	SM45C	650 (30db)				800×800×800		RB1-2: 120.6	
TB	SM45C	452 (21db)	264 (12db)	581.5	151.9	800×800×600		RB2-1: 112.8	117.3
								TB-2: 121.7	
								TB-1: 194.8	195.1
								TB-2: 195.4	

Note: RB and TB represent the round and thread bars, respectively. The values of yield strength, Modulus of elasticity, and concrete strength are average values obtained from the material tests.

거리,  $d_b$ 는 앵커볼트의 직경(mm)이다.

AISC (2003)<sup>[3]</sup>에서는 후크가 설치된 앵커볼트의 설계 인장강도를 다음 식 (7)과 같이 제시하고 있다.

$$T_h = 0.7f_{ck}d_bL_h \quad (7)$$

여기서,  $L_h$ 는 후크길이이다. 식 (7)에 콘크리트 압축강도 (19.7MPa)와 앵커볼트의 지름(=22mm), 그리고 후크의 길이 (= 264mm)를 대입하면, 앵커볼트의 인장강도는 80.1kN이다. 실험결과, 식 (7)에 의해 구한 값에 대한 RB1, RB2, 그리고 TB 실험체의 평균 강도의 비는 1.40, 1.46, 그리고 2.44이다.

## 5. 실험결과

### 5.1 실험체 손상 및 파괴모드

Fig. 6은 전형적인 약축방향 주각부의 파괴모드를 보여준다. Wdf 계열의 실험체는 모두 Fig. 6(a)에서 보이는 바와 같이 앵커볼트의 뽑힘현상이 발생하여 슬립형 거동을 나타냈다. 특히, Wdf1와 Wdf2 실험체의 경우, 베이스 플레이트의 압축면 항복이 앵커볼트의 항복보다 먼저 발생하였다. 두 실험체의 파괴모드는 매우 유사하게 나타났으며, 베이스 플레이트의 압축면 항복은 회전각 약 0.029rad에서 발생했으며, 앵커볼트의 항복은 0.03rad 이후에 발생하였다. Wdf3 실험체의 경우, 플레이트의 항복은 약 0.059rad에서 발생하는 것으로 나타났다. 반면에, WA1 실험체의 경우, 앵커볼트 항복이 베이스 플레이트의 항복보다 선행되었다. Fig. 6(b)는 WA1 실험체의 최종 파괴형상을 보여준다. 앵커볼트는 층간변위 약 0.01~0.02rad에서 항복하였으며, 이후 약 0.03rad에서 베이스 플레이트가 항복하였다. WA2 실험체의 경우, 베이스 플레이트의 항복과 앵커볼트의 항복이 거의 동시에

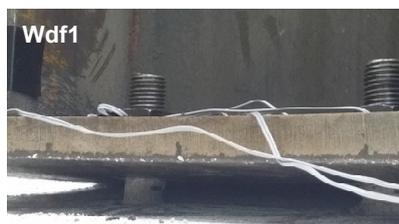
발생하는 것으로 나타났다. 나사산이 있는 앵커볼트 6개를 사용한 WA3와 WA4 실험체의 경우, 앵커볼트의 부착력 증가로 인해 앵커볼트의 뽑힘현상을 다소 방지할 수 있는 것으로 나타났다. Fig. 6(c)에서 보이는 바와 같이 두 실험체는 회전각 0.01rad에서 기둥 하부 플랜지에서 국부좌굴이 발생하였다.

### 5.2 모멘트-곡률 관계

Fig. 7은 각 실험체의 모멘트-층간변위 관계를 보여준다. 강재기둥의 설계항복강도( $F_y=235\text{MPa}$ )를 적용한 약축방향 소성모멘트( $M_p=F_yZ_w$ )는 160.7kN·m이다. 여기서,  $Z_w$ 는 기둥 단면의 단면계수(=684×103mm<sup>3</sup>)이다. 이 연구에서는 항복점을 평가하기 위해 Fig. 8과 같은 방법을 사용하였다. 원점과 최대하중의 75%에 해당하는 점을 연결한 직선과 최대하중에서의 수평선이 만나는 점에서의 수직선이 실험체의 모멘트-곡률 곡선과 만나는 점을 항복점으로 정의하였다. Table 4는 실험결과를 정리한 것이다. 횡변위  $\Delta$ 는 하중가력 지점에서 측정된 변위계의 값을 나타내며,  $\theta$ 는 회전각을 나타낸다. 강성( $k_y$ )은 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 원점과 항복점을 연결하는 직선의 기울기이다.  $\mu$ 는 연성도를 나타내며, 항복 시 횡변위에 대한 파괴 시 횡변위의 비( $\Delta_f/\Delta_y$ )로 계산된다. 파괴 시 횡변위는 최대 모멘트 강도값을 지나 모멘트 강도가 감소할 때, 최대 모멘트 강도의 80%에 도달한 지점으로 정의하였다.

실험결과, 앵커볼트가 강재 기둥 플랜지 사이에 위치하더라도 현행 구조기준에 의해 앵커볼트가 설계된 Wdf1와 Wdf2 실험체의 최대 모멘트 값은 재료의 공칭강도를 사용해 구한 소성모멘트보다 큰 값을 나타냈다. 하지만 앵커볼트에 후크가 설치되지 않은 Wdf3 실험체의 경우, 앵커볼트의 조기 뽑힘현상으로 인해 최대 모멘트는 소성모멘트에 미치지 못하였다. 앵커볼트가 강재 기둥 외부에 설치된 WA 계열 실험체의 경우, 모든 실험체의 최대 모멘트 값이 소성모멘트를 초과하였다.

앵커볼트의 위치와 개수 등은 주각부의 휨거동에도 큰 영향



(a) Slip behavior



(b) Pull-out failure of concrete



(c) Local buckling at beam flange section

Fig. 6. Damage and failure mode

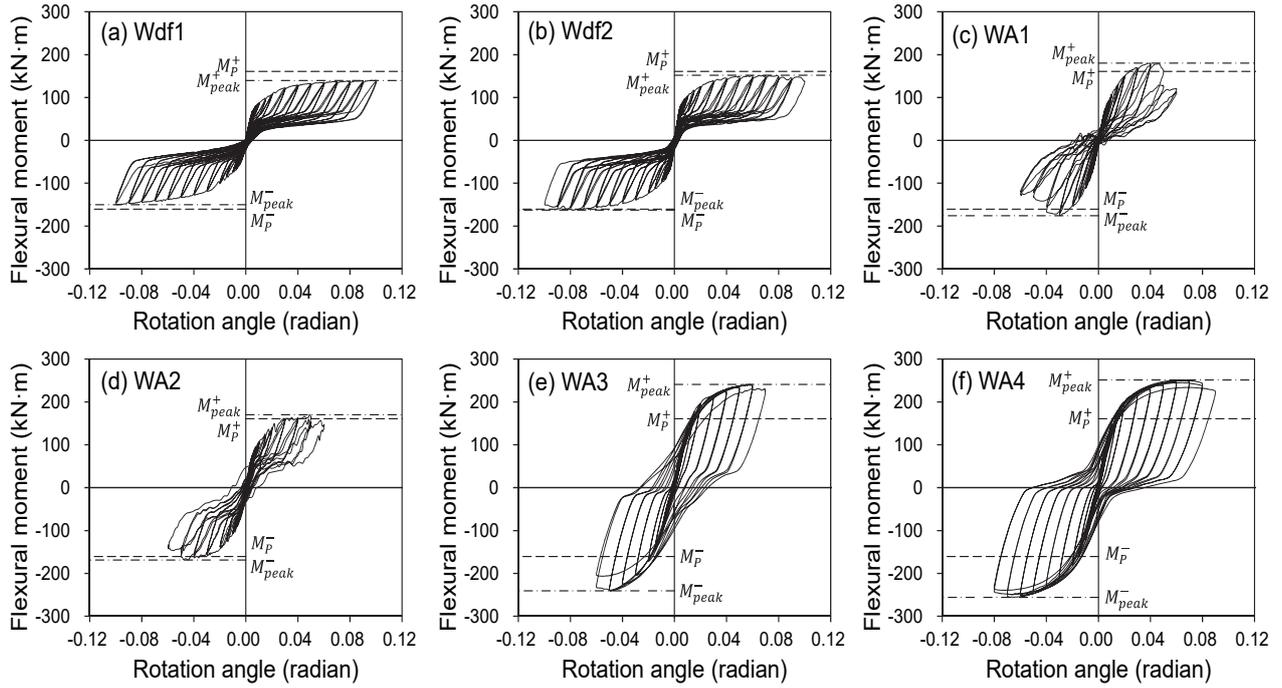


Fig. 7. Flexural moment-rotation angle relationship

Table 4. Summary of test results

Specimens	At peak						At failure					
	Positive (+)			Negative (-)			Positive (+)			Negative (-)		
	$\Delta_{@M_{peak}}^+$ (mm)	$\theta_{@M_{peak}}^+$ (rad)	$M_{peak}^+$ (kN·m)	$\Delta_{@M_{peak}}^-$ (mm)	$\theta_{@M_{peak}}^-$ (rad)	$M_{peak}^-$ (kN·m)	$\Delta_f^+$ (mm)	$\theta_f^+$ (rad)	$M_f^+$ (kN·m)	$\Delta_f^-$ (mm)	$\theta_f^-$ (rad)	$M_f^-$ (kN·m)
Wdf1	99.6	0.100	140.0	-99.3	-0.099	-150.1	100.1	0.100	138.3	-99.8	-0.100	-149.1
Wdf2	67.7	0.068	151.8	-77.7	-0.078	-162.8	90.1	0.090	144.8	-89.9	-0.090	-157.3
WA1	40.1	0.040	180.2	-29.4	-0.029	-175.6	60.1	0.060	120.0	-59.7	-0.060	-125.1
WA2	48.9	0.049	170.2	-44.3	-0.044	-168.6	50.1	0.050	164.7	-49.8	-0.050	-158.3
WA3	52.8	0.053	241.1	-49.3	-0.049	-240.8	60.0	0.060	235.3	-60.1	-0.060	-231.4
WA4	62.6	0.063	251.3	-67.8	-0.068	-255.8	79.8	0.080	243.1	-80.2	-0.080	-240.1

Specimens	At yielding						$k_y$ (kN·m/rad)		$M_{peak}/M_p$		$\mu$ ( $\Delta_f/\Delta_y$ )	
	Positive (+)			Negative (-)			(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
	$\Delta_y^+$ (mm)	$\theta_y^+$ (rad)	$M_y^+$ (kN·m)	$\Delta_y^-$ (mm)	$\theta_y^-$ (rad)	$M_y^-$ (kN·m)						
Wdf1	27.7	0.028	112.6	-33.4	-0.033	-122.2	4065.0	3658.7	0.87	0.87	3.61	2.99
Wdf2	32.1	0.032	123.0	-39.5	-0.040	-124.1	3831.8	3141.8	0.94	1.01	2.81	2.28
WA1	19.4	0.019	148.5	-19.5	-0.020	-152.6	7654.6	7825.6	1.12	1.09	3.10	3.06
WA2	20.1	0.020	142.0	-19.5	-0.020	-138.1	7064.7	7082.1	1.06	1.05	2.49	2.55
WA3	24.1	0.024	203.1	-26.7	-0.027	-204.2	8427.4	7647.9	1.50	1.50	2.49	2.25
WA4	23.4	0.023	208.8	-26.9	-0.027	-210.5	8923.1	7825.3	1.56	1.59	3.41	2.98

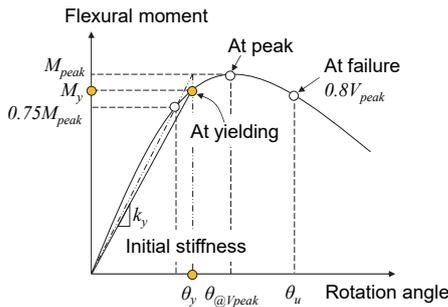


Fig. 8. Definition of yield point and initial stiffness

을 미치는 것으로 나타났다. Wdf 계열의 실험체에 비해 WA1과 WA2 실험체의 경우, 핀칭현상이 다소 완화되는 것으로 나타났다. 특히 나사산이 있는 앵커볼트를 사용한 WA3와 WA4 실험체의 경우, 앵커볼트와 콘크리트 기초부 사이에서 발생하는 부착력이 증가하여 우수한 거동양상을 보여주었다.

### 5.3 강성

노출형 주각부 접합부의 초기강성( $k_y$ )은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 하중-변위 곡선에서 항복 시 하중을 그 때의 변위값으로 나눈 값( $=V_y/\Delta_y$ )으로 정의하였다. 각 실험체의 강성값은 Table 4에 정리되어 있다.

약축방향 주각부의 강성은 대체로 앵커볼트의 부착력과 베이스 플레이트의 두께, 그리고 앵커볼트의 개수가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 반면에, 기둥 플랜지 사이에 설치된 리브 플레이트는 주각부의 강성에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 정·부가력시 강성값의 평균값을 상호 비교한 결과, Wdf1과 Wdf2 실험체의 강성은 WA4 실험체의 강성값의 약 46%와 42% 수준으로 나타났으며, WA1과 WA2는 약 92%와 84%를, WA3 실험체의 강성은 약 96%를 나타냈다. WA3 실험체를 제외한 나머지 모든 실험체의 강성이 상대적으로 작게 나온 이유는 앵커볼트의 부착력이 부족하고 베이스 플레이트가 실험초기 항복하였기 때문으로 판단된다. 슬립 거동을 보이는 Wdf1과 Wdf2 실험체의 경우, 최대 강도의 75%에 해당되는 지점과 최대강도의 수평선을 연결한 지점을 항복점으로 정의할 때, 실제 거동에서 보이는 초기강성과는 차이가 있기 때문이다. 아울러, WA3 실험체의 강성이 WA4보다 작게 나타난 이유는 베이스 플레이트가 항복하였기 때문으로 판단된다.

NZS 3404.1 (2009)<sup>[21]</sup>에서는 주각부가 구속되었을 때 휨강성의 하한값( $k_f$ )과 핀접합되었을 때의 상한값( $k_p$ )을 각각,

$k_f = 1.67EI_c/L_c$ 와  $k_p = 0.1EI_c/L_c$ 으로 제시하고 있다. 여기서,  $k_f$ 와  $k_p$ 는 각각 주각부 지점조건을 고정접합(fixed)과 핀접합(pinned)으로 가정했을 때의 강성(kN·m/radian)을 의미하며,  $E$ 는 탄성계수(=205,000MPa),  $I_c$ 는 기둥 단면의 약축방향 단면 2차모멘트(=6,750×10<sup>4</sup>mm<sup>4</sup>), 그리고  $L_c$ 는 기둥의 높이(=1,000mm)이다.

Table 5는 실험을 통해 구한 약축방향 주각부의 초기강성과 NZS 3404.1<sup>[21]</sup>에서 제시하고 있는 강성을 상호비교한 것이다. 비교결과, 모든 실험체는 NZS 3404에서 제시하고 있는 지점을 고정접합으로 가정했을 때의 강성값보다는 작고, 핀접합으로 가정했을 때의 값보다는 큰 것으로 나타났다. 지점을 고정접합으로 가정했을 경우, 현행 기준에서 제시하고 있는 강성에 대한 Wdf1과 Wdf2 실험체의 강성의 비는 0.14~0.18로 나타났으며, WA계열의 실험체는 0.32~0.40 수준으로 나타났다. 반면에, 지점을 핀접합으로 가정했을 경우, Wdf 계열의 강성은 NZS 3404에서 제시하고 있는 강성값보다 약 2.27~2.97배 정도, WA 계열의 실험체의 경우 약 5.11~6.45배 정도로 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서 제안된 약축방향 주각부가 부분 강접합으로 가정될 수 있음을 의미한다.

### 5.4 에너지 소산능력

Fig. 9는 목표변위별 누적 에너지 소산능력을 나타낸다. 에너지 소산능력은 모멘트-층간변위 곡선에서 목표 층간변위별 마지막 사이클의 내부 면적으로 구했으며(ACI T1.1-01, 2001)<sup>[22]</sup>, 누적 에너지 소산능력은 목표 변위별 에너지 소산능력을 모두 더한 값을 의미한다. Fig. 9에서 보이는 바와 같이, Wdf1 실험체에 비해 Wdf2, WA1, WA2 실험체의 에너지 소산능력이 다소 크게 나타나긴 했으나 전반적으로 유사한 값

Table 5. Comparison of initial stiffness between test data and NZS 3404 (2009) design codes

Specimens	Fixed		Pinned	
	$k_y^+/k_f$	$k_y^-/k_f$	$k_y^+/k_f$	$k_y^-/k_f$
Wdf1	0.18	0.17	2.94	2.64
Wdf2	0.17	0.14	2.77	2.27
WA1	0.35	0.35	5.53	5.66
WA2	0.32	0.32	5.11	5.12
WA3	0.38	0.35	6.09	5.53
WA4	0.40	0.35	6.45	5.66

Note:  $k_y$  is the initial stiffness obtained from the tests and  $k_f$  is the stiffness obtained from NZS 3404 (2009).

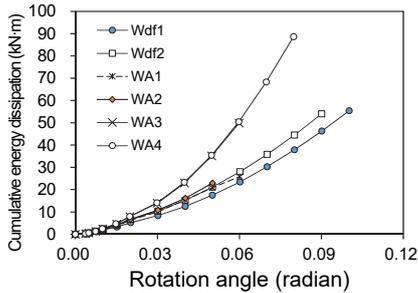


Fig. 9. Cumulative energy dissipation

을 나타냈다. 반면에, WA3와 WA4 실험체는 다른 실험체에 비해 매우 우수한 에너지 소산능력을 보여주었다. 회전각 0.06rad일 때 나사산이 있는 갈고리 앵커볼트를 사용한 WA3, WA4 실험체의 누적 에너지 소산능력은 Wdf1, Wdf2 실험체의 에너지 소산능력의 약 1.8배에서 2.15배정도로 나타났다. 이러한 결과는 나사산이 있는 앵커볼트의 부착성능이 뛰어나 기둥 플랜지가 국부좌굴이 발생한 이후 베이스 플레이트와 기둥 플랜지에서 에너지가 충분히 소산되었기 때문으로 판단된다.

## 6. 실험결과 분석

### 6.1 베이스 플레이트의 두께

앞서 언급한 바와 같이, 베이스 플레이트의 항복여부는 주각부 약축 접합부의 거동에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 베이스 플레이트의 항복여부를 알아보기 위해 스트레인 게이지를 사용하여 변형률을 측정하였다.

Fig. 10은 각 실험체 별 베이스 플레이트에서 측정된 변형

률 변화를 보여준다. 베이스 플레이트의 두께가 20mm인 Wdf1과 Wdf2 실험체의 경우, 리브 플레이트의 영향으로 인해 베이스 플레이트의 항복이 지연되는 것으로 나타났다. Wdf1 실험체의 베이스 플레이트는 0.029rad에서 항복하였으나, Wdf2 실험체의 경우, 약 0.04rad에서 항복하는 것으로 나타났다. 플레이트의 두께가 25mm인 WA1 실험체와 WA2 실험체는 회전각 0.03rad과 0.04rad에서 각각 항복하는 것으로 나타났다. 앵커볼트가 6개인 WA1 실험체에 비해 4개의 앵커볼트가 사용된 WA2 실험체에 대해 베이스 플레이트의 항복이 지연된 것은 앵커볼트의 부착력이 작은 WA2가 실험초기 앵커볼트의 뿔힘현상으로 인해 베이스 플레이트에 충분한 힘이 전달되지 않았기 때문으로 판단된다. 베이스 플레이트의 두께가 25mm이고 나사산이 있는 앵커볼트를 사용한 WA3 실험체의 경우, 베이스 플레이트가 0.017rad에서 항복하는 것으로 나타났다. 반면에, 베이스 플레이트의 두께가 30mm인 WA4 실험체는 실험종료 시까지 항복하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앵커볼트의 부착력과도 관련이 있다. 앵커볼트와 기초부 콘크리트 사이의 부착력이 작을 경우, 앵커볼트의 뿔힘현상이 조기에 발생하게 되며, 이후 플레이트의 인장면 또는 압축면에서 변형이 발생하게 된다. 이러한 결과로 인해, 탄성구간이 지난 후 슬립형 거동이 나타나게 되며, 베이스 플레이트의 조기 항복으로 인해 초기강성과 에너지 소산능력 등에 영향을 끼치게 된다. 하지만, 앵커볼트의 부착력이 충분히 제공되고, 베이스 플레이트가 항복하지 않는 경우(WA4), 주각부 기둥이 보다 효율적으로 비탄성 거동을 할 수 있으므로 다른 실험체에 비해 우수한 내진성능을 나타내었다.

실험결과, 실험에서 사용된 베이스 플레이트의 두께가

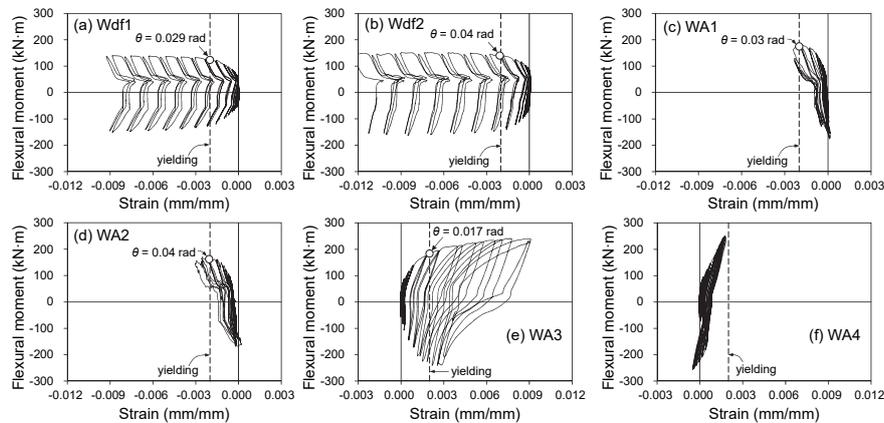


Fig. 10. Strain response measured at the base plate

AISC (2006)<sup>[5]</sup>에서 제시하고 있는 최소 플레이트 두께를 만족하더라도 베이스 플레이트의 항복이 초기에 발생한다면, 강성과 에너지 소산능력과 같은 구조성능이 저하될 가능성이 있는 것으로 나타났다.

## 6.2 앵커볼트의 부착력

AISC (2006)<sup>[5]</sup>에 따르면, L형 또는 J형 갈고리 앵커볼트는 일반적으로 콘크리트 구조기준에서 제시하고 있는 요구 인장강도를 만족시키기 어렵기 때문에, 이러한 앵커볼트는 앵커볼트에 작용하는 인장력이 작을 경우에 사용되어야 한다고 규정하고 있다. 이러한 기준은 갈고리 앵커볼트의 경우, 마찰에 의한 저항성능은 무시한 채 오직 지압에 의한 저항성능만을 고려하고 있기 때문이다. 갈고리 내면에서 파쇄가 발생하면 연결부 강성이 점차 감소되어 결국 앵커볼트의 뿔힘파괴로 발전하게 된다. 이러한 뿔힘파괴는 주각부의 슬립형 거동을 야기시키며, 주각부의 구조성능을 저하시키는 주요 원인이 된다. 하지만, 갈고리 앵커볼트를 사용하더라도 마찰에 의한 부착성능을 향상시킨 경우, 콘크리트 파괴와 앵커볼트의 뿔힘파괴를 효율적으로 방지할 수 있는 것으로 나타났다. 앵커볼트 인발실험을 수행한 결과, AISC (2003)<sup>[3]</sup>에서 제시하고 있는 앵커볼트의 설계인장강도(식 (7))에 대한 나사산이 있는 L형 갈고리 앵커볼트의 인장강도의 비는 2.44였으며, ACI 318-14 (2014)<sup>[17]</sup>에서 제시하고 있는 갈고리 볼트의 인장강도(식 (6))에 대한 실험값의 비는 1.56으로 나타났다. 반면에 원형강봉의 경우, 강도비는 RB1은 0.89, RB2는 0.94를 나타냈다.

이러한 결과는 축력과 휨모멘트를 동시에 받는 주각부에 L형 갈고리 앵커볼트를 사용할 때 ACI 318-14 (2014)<sup>[17]</sup>와 KCI 2012 (2012)<sup>[18]</sup>에서 제시하고 있는 갈고리 볼트의 뿔힘강도 식으로 앵커볼트를 설계할 경우, 앵커볼트의 뿔힘파괴가 초기에 발생할 수 있음을 보여준다.

## 7. 결론

본 연구에서는 기존 소규모 철골조에서 사용되는 현장상세 노출형 주각부와 이를 보완한 상세를 가진 약축방향 주각부에 대한 반복가력 실험을 통해 다양한 상세를 가진 노출형 주각부의 내진성능을 평가하였다. 실험변수는 베이스 플레이트의 두께, 앵커볼트의 개수와 매립길이, 그리고 리브 플레이트의 유무이다. 실험연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 제안된 약축방향 주각부 상세는 부분 강접합으로 해석상 가정할 수 있는 것으로 나타났다. 모든 실험체는 현행 기준(NZS 3404.1, 2009)<sup>[21]</sup>에서 제시하고 있는 지점을 고정접합으로 가정했을 때의 강성값보다는 작고, 핀접합으로 가정했을 때의 값보다는 큰 것으로 나타났다.
- (2) 앵커볼트의 부착성능과 베이스 플레이트의 항복유무는 주각부의 에너지 소산능력에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 실험결과, 베이스 플레이트가 항복하지 않은 상태에서 강재 기둥이 비탄성거동을 보여준 WA4 실험체의 에너지 소산능력이 가장 우수하게 나타났다.
- (3) 베이스 플레이트의 항복유무는 주각부 약축접합부의 구조성능에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 실험결과, 베이스 플레이트가 현행 기준에서 제시하고 있는 최소 두께를 만족하더라도 강재 기둥이 소성모멘트에 도달하기 전 항복할 경우, 주각부의 구조성능이 저하될 수 있는 소지가 있다.
- (4) 축력과 휨모멘트를 동시에 받는 주각부에 L형 갈고리 앵커볼트를 사용할 때 ACI 318-14 (2014)<sup>[17]</sup>와 KCI 2012 (2012)<sup>[18]</sup>에서 제시하고 있는 갈고리 볼트의 뿔힘강도 식으로 앵커볼트를 설계할 경우, 앵커볼트의 뿔힘파괴가 초기에 발생할 수 있다.
- (5) L형 갈고리 앵커볼트를 사용하더라도 마찰에 의한 부착성능을 향상시킨 경우, 콘크리트 파괴와 앵커볼트의 뿔힘파괴를 효율적으로 방지할 수 있는 것으로 나타났다. 기존의 원형강봉에 비해 부착성능이 우수한 나사산이 있는 L형 갈고리 앵커볼트는 반강접 노출형 주각부에 사용가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 도시건축연구사업(16AUDP-B066083-04)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌(References)

- [1] 부산대학교 지진방재연구센터(2011) 기존 저층건축물 내진성능 확보기술 개발, 소방방재청. Seismic Simulation Test Center in Pusan National University (2011) *Technological Development for Seismic Performance on the Existing Low-Rise Buildings*, National

- Emergency Management Agency, Korea (in Korean).
- [2] 한국건축구조기술사회(2012) 소규모건축물 구조지침 및 해설, 기문당.  
The Korean Structural Engineers Association (2012) *Structural Design Criteria and Commentary for One and Two Story Small Buildings*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [3] DeWolf, J.T., and Bicker, D.T. (2003) *Design Guide 1: Column Base Plates*, AISC, USA.
- [4] American Institute of Steel Construction (2005) *Steel Construction Manual* (13th Ed.), AISC, USA.
- [5] Fisher, J.M., and Kloiber, L.A. (2006) *Base Plate and Anchor Rod Design* (2nd Ed.), AISC, USA.
- [6] American Institute of Steel Construction (2010) *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 341-10), USA.
- [7] 대한건축학회(2009) 건축구조설계기준 및 해설, 대한건축학회.  
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code and Commentary*, AIK, Korea (in Korean).
- [8] Di Sarno, L., Pecce, M.R., and Fabbrocino, G. (2007) Inelastic Response of Composite Steel and Concrete Base Column Connections, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.63, No.6, pp.819-832.
- [9] Drake, R.M., and Elkin, S.J. (1999) Beam-Column Base Plate Design - LRFD Method, *Engineering Journal*, AISC, Vol.36, No.1, pp.29-38.
- [10] Fisher, J.M., and Kloiber, L.A. (2006) *Base Plate and Anchor Rod Design* (2nd Ed.), AISC, USA. pp.13-31.
- [11] Fisher, J.M., and West, M.A. (1997) *Design Guide 10: Erection Bracing of Low-Rise Structural Steel Building*, American Institute of Steel Construction, USA. pp.11-18.
- [12] Hon, K.K., and Mechers, R.E. (1988) Experimental Behaviour of Steel Column Bases, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.9, No.1, pp.35-50.
- [13] Kanvinde, A.M., Grilli, D.A., and Zareian, F. (2012) Rotational Stiffness of Exposed Column Base Connections: Experiments and Analytical Models, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.138, No.5, pp.549-560.
- [14] Melchers, R.E. (1992) Column-Base Response Under Applied Moment, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.23, pp.127-143.
- [15] Thambiratnam, D.P., and Paramasivam, P. (1986) Base Plates Under Axial Loads and Moments, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.112, No.5, pp.1166-1181.
- [16] 이승준, 송현석(2008) 편심 축하중을 받는 강구조 주각부의 거동에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제2호, pp.323-332.  
Lee, S.J., and Song, H.S. (2008) A Study on the Structural Behavior of Eccentrically Loaded Steel Column Base Plates, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.20, No.2, pp.323-332 (in Korean).
- [17] American Concrete Institute (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-14), USA.
- [18] 한국콘크리트학회(2012) 콘크리트구조기준 해설, 기문당.  
Korean Concrete Institute (2012) *Concrete Structure Design Code and Commentary*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [19] 국가기술표준원(2007) 금속재료 인장시험편(KS B 0801: 2007).  
Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [20] 국가기술표준원(2003) 금속 재료 인장 시험 방법(KS B 0802: 2003).  
Korean Agency for Technology and Standards (2003) *Method of Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0802: 2003), Korea (in Korean).
- [21] Standards New Zealand (2009) *Steel Structures Standard, Part 1: Materials, Fabrication, and Construction* (NZS 3404.1: 2009), New Zealand.
- [22] American Concrete Institute (2001) *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing* (ACI T1.1-01), USA.

**요약** : 본 연구에서는 기존 소규모 철골조에서 나타나는 현장상세 노출형 주각부와 이를 보완한 상세를 가진 약축방향 주각부에 대한 반복 가력 실험을 통해 다양한 상세를 가진 약축방향 노출형 주각부의 내진성능을 평가하였다. 실험변수는 베이스 플레이트의 두께, 앵커볼트의 개수와 매립깊이, 그리고 리브 플레이트의 유무이다. 앵커볼트의 부착성능이 주각부 내진성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구에서는 원형강 봉과 나사산이 있는 L형 갈고리 앵커볼트를 사용하였다. 실험결과, 앵커볼트의 부착성능과 베이스 플레이트의 항복유무는 주각부의 에너지 소산능력에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 특히, 베이스 플레이트가 현행 기준에서 제시하고 있는 최소 두께를 만족하더라도 강재 기둥이 소성 모멘트에 도달하기 전 베이스 플레이트가 항복할 경우, 주각부의 구조성능이 저하될 수 있는 소지가 있는 것으로 나타났다. 하지만, 현행 구조기준에 따라 접합부 성능을 조사한 결과, 제안된 약축방향 주각부 상세는 부분 강접합으로 가정할 수 있는 것으로 나타났다. 기존의 원형강봉에 비해 부착성능이 우수한 나사산이 있는 L형 갈고리 앵커볼트는 반강접 노출형 주각부에 사용가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 소규모 철골조, 노출형 주각부, 약축방향, 내진성능, 갈고리 앵커볼트, 반강접 접합부