

# 에너지 흡수형 고력볼트를 사용한 철골 주각부의 동적 거동 특성에 관한 연구

## A Study on the Dynamic Behavior Characteristics of Steel Column Base using Energy Absorbtion High Strength Bolt

이 승 재\*  
Lee, Seung-Jae

박 재 성\*\*  
Park, Jae-Seong

### 요 약

주각부는 상부의 강구조와 철근콘크리트조 기초의 접합부로서 매우 중요한 부분이다. 현재 국내외 강구조 골조 공사에서 사용되는 주각부의 형식은 크게 구분하여 노출형 주각부, 근권형 주각부, 매입형 주각부라고 할 수 있다. 이 중에서 부재의 재사용 및 재활용을 최우선으로 고려한다면 노출형 주각부가 가장 유리하다. 본 연구에서는 이러한 노출형 주각부의 시공 성능 및 역학적 성능을 획기적으로 개선할 수 있는 형태의 강구조 신형상 노출형 주각부를 개발하고, 구조 성능 평가를 위한 탄소성 재하실험을 수행하였다. 그 결과 개발된 신형상 노출형 주각부는 수평 방향과 수직 방향의 시공 오차를 현장에서 간단히 흡수하여 기존 노출형 주각부의 시공 불량을 사전에 방지함으로써 구조 성능을 발휘한다. 또한 에너지 흡수형 고력볼트를 사용함으로써 변형 성능이 증가함을 알 수 있었다.

### Abstract

Column base is very important part of steel structure because it transmits load to foundation in structure. Column base which is used frame construction in the inside and outside of the country is distributed into exposed-type, concrete encased and imbeded-type. Exposed-type column base is most profitable, if consider reuse and recycle of elements first of all. In this study, we proposed a new style exposed-type column base improved in performance for construction work and mechanical performance.

**키워드 :** 에너지 흡수형, 철골 주각부, 동적 거동 특성, 탄소성 재하실험

**Keywords :** Energy absorbtion, Steel column base, Dynamic behavior characteristics, Elasto-plastic loading test

## 1. 서 론

주각부는 상부의 강구조와 철근콘크리트조 기초의 접합부로서 매우 중요한 부분이다. 역학적으로는 강재와 콘크리트의 복합 구조로써의 구조 성능을 발휘하며, 풍하중 등을 비롯한 반복적으로 큰 변형이 발생하는 경우에는 복잡한 이력 거동을 나타낸다.

또한 주각부의 시공은 제작 정밀도의 오차 및 시공 정밀도의 오차가 서로 혼합되어 상당히 복잡한 부분이다.

현재 국내외 강구조 골조 공사에서 사용되는 주각부의 형식은 <표 1>과 같이 크게 노출형 주각부, 근권형 주각부, 매입형 주각부로 나눌 수 있다. 이 중에서 부재의 재사용 및 재활용을 최우선으로 고려한다면 노출형 주각부가 가장 유리하다.

\* 교신저자, 한국기술교육대학교 건축공학부 부교수, 공학박사  
Tel : 041-560-1334 Fax : 041-560-1224

E-mail : leeseung@kut.ac.kr

\*\* 한국기술교육대학교 대학원 박사과정

〈표 1〉 강구조 골조 공사에서 사용되는 주각부의 형식

주각부 형식	시공 방법	재활용성
노출형 주각부 Exposed-type Column Base	베이스 플레이트와 앵커볼트에 의해 철근콘크리트 기초에 정착하는 형식의 주각	재활용 유리
근권형 주각부 Concrete Encased Column Base	주각부가 철골철근콘크리트 기둥을 형성하는 형식의 주각	재활용 불리
매입형 주각부 Imbeded-type Column Base	철골 기둥이 철근콘크리트 기초부에 매입되는 형식의 주각	재활용 불리

본 연구에서는 기존 노출형 주각부의 문제점을 진단하고, 시공 성능 및 역학적 성능을 획기적으로 개선할 수 있는 형태의 강구조 신형상 노출형 주각부를 개발하여, 동적 거동 특성을 파악하였다. 이를 위하여 기존 노출형 주각부와 개발된 신형상 노출형 주각부를 설계 및 제작하여 탄소성 재하실험을 수행하였다.1)2)

## 2. 기존 노출형 주각부의 문제점

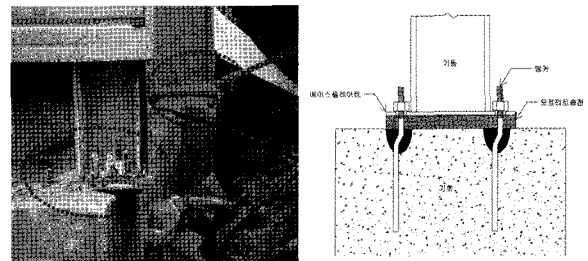
우선 기존 노출형 주각부의 구조 성능은 시공 상태에 따라 크게 좌우되므로 시공 조건을 고려한 구조 설계를 수행하여야 한다. 그러나 실제의 공사 현장에서는 기초 공사와 철골 공사라는 다른 공종의 접점이므로 공사 구분이나 시공 관리가 소홀하기 쉽다. 따라서 설계 단계에서 요구하는 성능을 발휘하는 주각부가 시공되기는 극히 어렵다.

〈표 2〉 기존 노출형 주각부의 문제점

구성요소	문제점 및 유의점
앵커볼트	- 수평 방향의 위치 불량 : 기초콘크리트 타설시 진동 및 충격으로 인한 수평 방향 위치의 변화
	- 수직 방향의 위치 불량 : 나사부의 위치가 상하로 이동하여 너트의 조임 불능 및 충분한 조임 길이 확보 곤란
	- 정착 불량 : 정착 길이 미확보로 뽑힐 가능성

베이스 플레이트	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 강도와 두께 : 설계에서 가정한 내하기구를 형성할 수 있는 강도와 두께를 가진 베이스 플레이트를 이용</li> <li>- 설계시의 과대 앵커볼트 클리어런스 : 앵커볼트의 시공 정도를 고려하여 미리 볼트 구멍을 과대 가공하여 슬립 현상 발생</li> <li>- 시공시의 과대 앵커볼트 클리어런스 : 앵커볼트의 위치가 변하는 경우, 현장에서 가스 용접하여 볼트구멍을 확대 가공하는 경우</li> </ul>
모르타르	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 충전성 : 베이스 플레이트에 무수축 모르타르를 완전히 충전하여 베이스 플레이트와의 밀착성을 확보하여야 하지만 현장에서는 모르타르가 완전히 충전되었는지 확인 불가. 밀착성이 나쁜 경우, 설계 단계에서의 강성 및 내력 확보 곤란</li> <li>- 모르타르 강도의 지정 : 모르타르 부분의 압괴로 인한 파괴를 방지하기 위해 고강도 모르타르 사용. 모르타르의 사양은 현장의 판단이 아닌 설계단계에서 지정</li> </ul>
전단력	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 마찰력에만 의존할 경우, 저항력이 축력과 모르타르의 충전성에 의존하므로 앵커볼트의 전단 저항을 고려 혹은 전단력에 대해서 shear plate 설치 등 설계 단계에서의 배려가 필요</li> </ul>

〈표 2〉에 기존 노출형 주각부의 설계 및 시공 단계에서 발생할 수 있는 문제점을 나타낸다. 기초 콘크리트 타설 시에 발생하는 진동 및 충격으로 인하여 앵커볼트의 수평 방향 위치가 변하게 되고, 앵커볼트 나사부의 위치가 상하로 이동하여 너트의 조임 불능 및 조임 길이 확보가 곤란한 경우 등으로 인하여 〈그림 1〉과 같은 시공 불량 발생하게 된다.

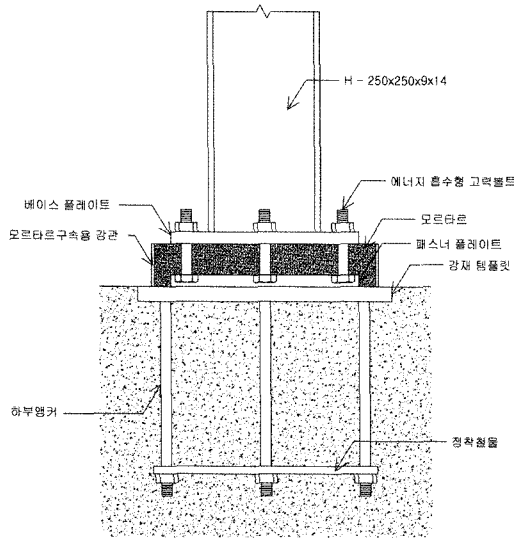


〈그림 1〉 기존 노출형 주각부의 시공 불량

즉, 앵커볼트가 매립된 콘크리트 상부 면에 콘(Cone) 형태의 여유를 이용하여 앵커볼트를 강제적으로 기둥의 베이스 플레이트와 체결하는 시공 불량

이다. 따라서 시공 불량은 주각부의 강도 및 강성 저하로 이어져 설계 단계에서 요구하는 구조 성능을 발휘할 수 없게 된다.

### 3. 신형상 노출형 주각부의 개발

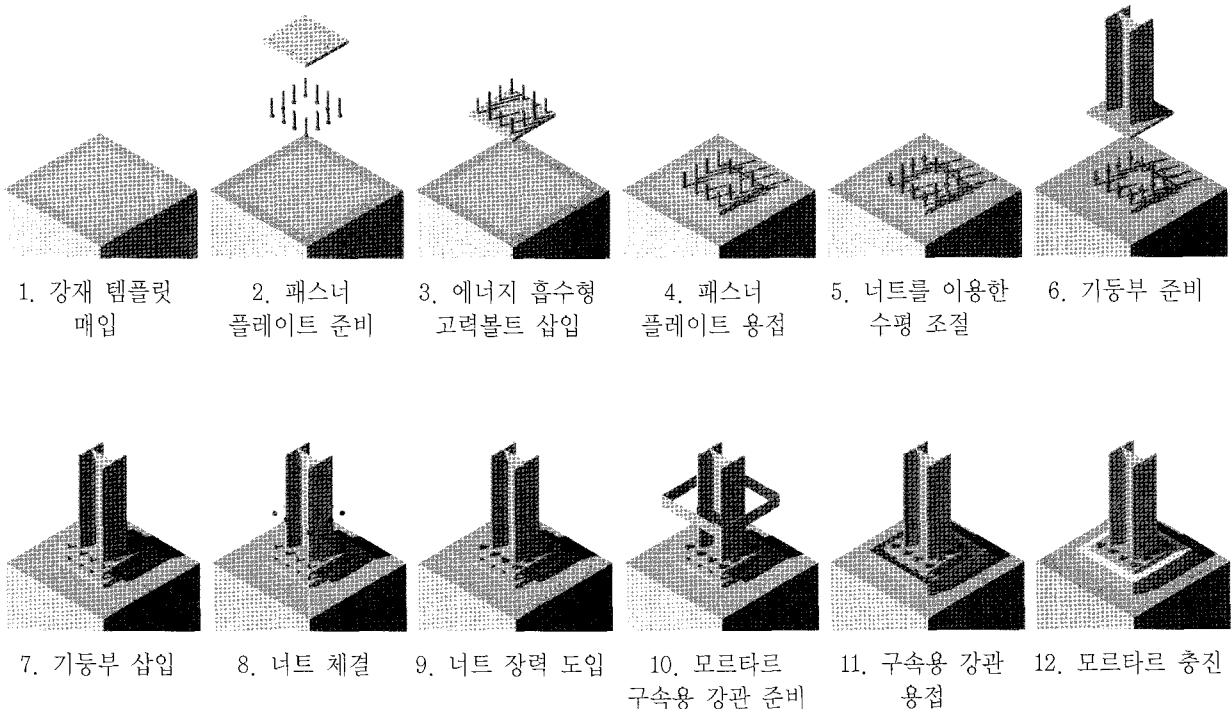


〈그림 2〉 신형상 노출형 주각부

앞서 진단한 기존 노출형 주각부의 문제점을 보완하여 신형상 노출형 주각부를 개발하였다. 개발된 주각부는 수평 방향과 수직 방향의 시공 오차를 현장에서 간단히 흡수하여 기존 노출형 주각부의 시공 불량을 사전에 방지함으로써 구조 성능을 발휘할 수 있는 주각부이다. 개발된 신형상 노출형 주각부를 〈그림 2〉에 나타낸다. 신형상 노출형 주각부의 가장 큰 특징은 기초 콘크리트와 강재 기둥 사이의 인터페이스이다. 인터페이스의 구성과 기능은 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 인터페이스의 구성과 기능

인터페이스	기능
에너지 흡수형 고력볼트 <sup>3)</sup>	- 기존의 앵커볼트를 강도 및 변형 성능에 있어서 혁신적으로 향상시킨 고력볼트 - 풍하중과 같은 외란에 대한 강도 및 변형 성능 향상
패스너 플레이트	- 에너지 흡수형 고력볼트를 삽입하여 기초 콘크리트에 매입되어 있는 강재 템플릿에 용접 장착되어 지는 플레이트 - 수평 방향의 오차를 흡수
모르타르 구속용 강관	- 모르타르를 구속하기 위하여 설치하는 강관 - 강관의 높이를 조절함으로써 수직 방향의 오차를 흡수



〈그림 3〉 신형상 노출형 주각부의 시공 순서

우선 하부 앵커가 설치된 강재 템플릿을 기초 콘크리트에 매입하고, 현장 기능 인력 2명이 에너지 흡수형 고력볼트를 패스너 플레이트에 삽입하여 강재 템플릿에 고정한다. 그 후 패스너 플레이트를 강재 템플릿에 용접 접합한다. 다음으로 너트를 이용하여 수직 방향의 높이를 조절한 후, 베이스 플레이트가 접합된 기둥을 가설치한다. 수평 및 수직 방향의 밸런스를 확인한 후 최종적으로 모르타르 구속용 강관을 용접하여 모르타르를 타설한다. 개발된 신형상 노출형 주각부의 시공 순서를 <그림 3>에 나타낸다.

### 3.1 구조 성능 실험을 위한 주각부 디테일

주각부는 3차원 형태로서 선재와 같은 단순한 역학모델로 치환하는 것은 어렵다. 따라서 주각부의 거동을 명확히 파악하기 위해서는 주각부의 거동을 지배하는 파라메타를 가능한 줄여서 명확한 설계식으로 나타내기 위한 주각부 디테일을 개발하는 것이 필요하다. 일반적으로 노출형 주각부의 항복 또는 파괴 메커니즘은 다음과 같이 3종류로 나눌 수 있다.

- ① 앵커볼트 항복형
- ② 베이스 플레이트 항복형
- ③ 콘크리트 압괴

①의 앵커볼트 파괴 메커니즘은 베이스 플레이트가 항복하기 이전에 인장측 앵커볼트가 항복하여 주각부의 전체적인 거동이 앵커볼트만의 변형에 의해 결정되어지는 경우이다. 따라서 앵커볼트는 안정된 변형 성능을 발휘해야 하고, 나사부의 파단으로 주각부의 최대 내력이 정해져 버리는 것은 피해야 한다. 신형상 노출형 주각부에서는 축부가 나사부보다 가늘게 제작된 에너지 흡수형 고력볼트를 사용함으로써 나사부가 아닌 축부에 응력이 집중된다. 에너지 흡수형 고력볼트를 앵커볼트로서 사용하는 경우,

주각부의 항복 내력과 변형 성능은 에너지 흡수형 고력볼트의 축부 항복 및 파단에 의해 결정되어지므로 에너지 흡수형 고력볼트의 변형 성능이 확보되면 주각부의 변형 성능도 확보 가능하다.

②의 베이스 플레이트 파괴 메커니즘이 발생하는 노출형 주각부에서는 베이스 플레이트의 휨변형이 주로 주각부 전체의 거동을 지배한다. 그러나 베이스 플레이트의 판 두께, 볼트의 수 및 볼트의 배치 상태에 따라 베이스 플레이트의 변형 상태가 다르므로 주각부 전체의 거동을 정확히 파악하는 것은 어렵다.

③의 콘크리트 압괴 메커니즘은 취성적 파괴형태로써 주각부가 소성 변형 능력을 발휘하기가 어렵고, 베이스 플레이트와 콘크리트 접촉면의 응력상태를 평가하기 어려우므로 최대한 피해야 하는 형태이다. 신형상 노출형 주각부에서는 콘크리트 부분을 강관으로 구속함으로써 모르타르가 압축 강도를 충분히 발휘하고, 압괴 이후에도 박리되어 베이스 플레이트 밑으로부터의 유출을 방지하도록 하여 어느 정도 압축 강도를 확보할 수 있다.

### 3.2 신형상 노출형 주각부의 설계식 제안

베이스 플레이트 항복형 주각부의 항복 내력식은 <그림 4>를 참고로 하여 항복선 이론을 이용하면 식(1)과 식(2)로 산정할 수 있다.

$$Thin M_y = \left( 10D + 4d + \frac{3D^2}{d} \right) \times m_p + 2D \times T_y \quad (1)$$

$$Thick M_y = (5D + 6d) \times m_p + (2d_1 + d_2 + 3D) \times T_y \quad (2)$$

여기서,

$Thin M_y$  : 베이스 플레이트의 판 두께가 얇은 경우

$Thick M_y$  : 베이스 플레이트의 판 두께가 두꺼운 경우

$$m_p = \frac{bF_y \times t^2}{4} : \text{베이스 플레이트 단면의 전소성 모멘트}$$

$T_y = a \times aF_y$  : 볼트의 항복 내력

$bF_y$  : 베이스 플레이트의 항복 강도

$aF_y$  : 볼트의 항복 강도

$t$  : 베이스 플레이트의 판 두께

$a$  : 볼트의 축부 단면적

$d_1$  : 외측에 배치된 볼트의 기둥 도심으로부터의 거리

$d_2$  : 내측에 배치된 볼트의 기둥 도심으로부터의 거리

$D$  : 기둥의 폭

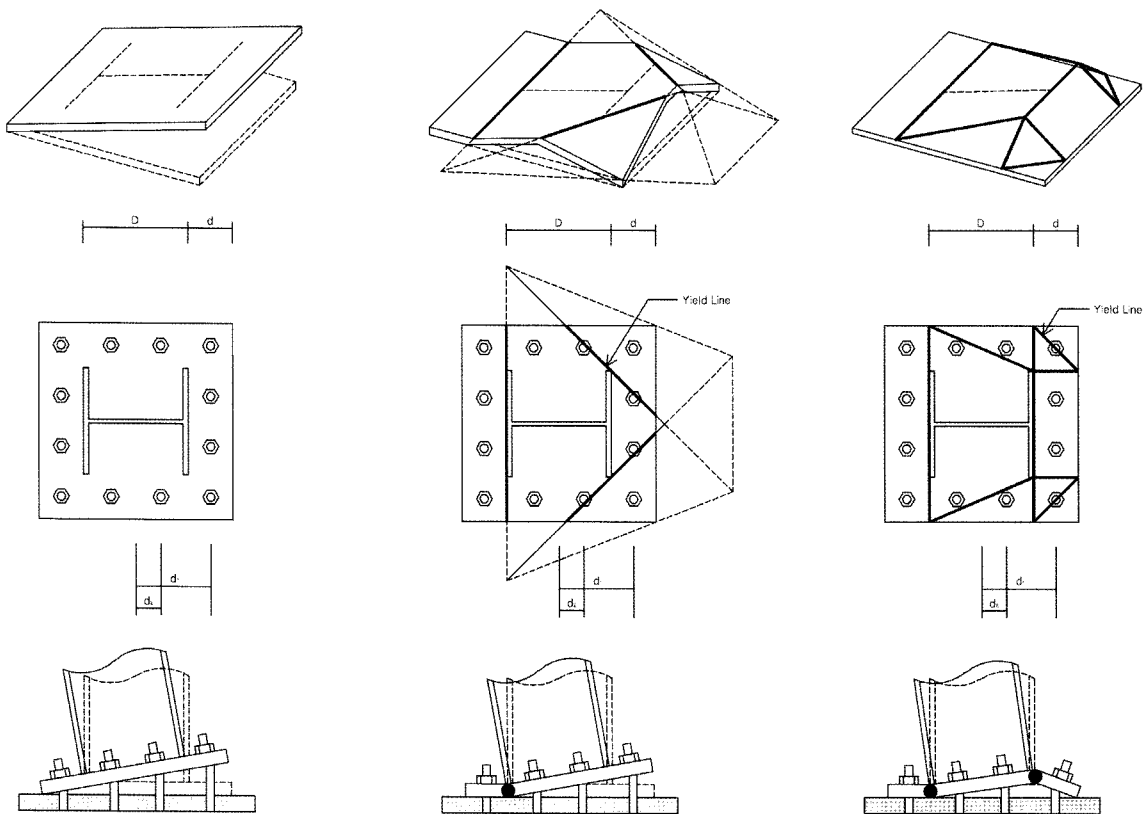
$d$  : 기둥으로부터 노출된 베이스 플레이트 부분의 폭

베이스 플레이트의 두께에 따라 항복선의 형성이 달라지므로 본 연구에서는 베이스 플레이트의 판 두

께가 두꺼운 경우와 얇은 경우로 나누어서 2종류의 항복선을 가정하여 항복내력을 산정하였다. 신형상 노출형 주각부의 내력 산정식은 재하실험 결과에서 나타나는 항복 메커니즘을 충분히 파악한 후 약간의 수정 가능성이 있으나, 예비설계 단계에서 신형상 노출형 주각부의 내력식 계산에는 어려움이 없으리라 판단된다. 다만, 아직 실무에서는 허용응력설계법이나 한계상태설계법을 사용하고 있으므로 항복선 이론을 적용하기 위해서는 좀 더 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

### 3.3 소재인장시험

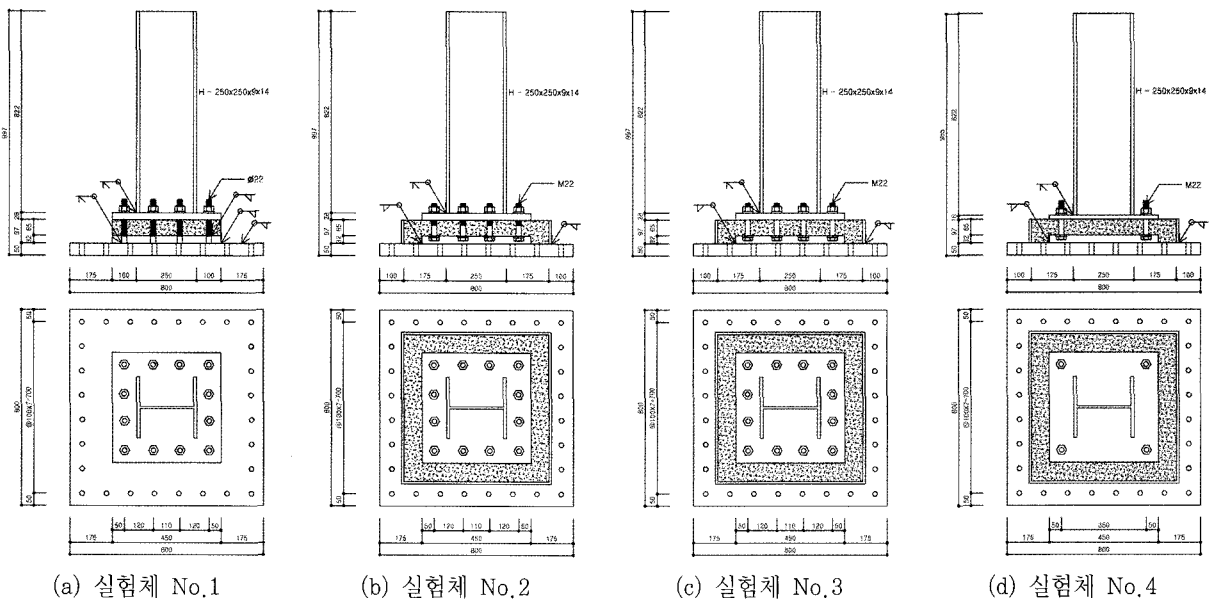
신형상 노출형 주각부에 사용되는 강제기둥은 SM490급 강재 H-250×250×9×14를 사용하였으며, 에너지 흡수형 고력볼트는 선행연구에서 우수하



〈그림 4〉 내력식 산정을 위한 항복선의 가정(베이스 플레이트 항복형)

〈표 5〉 실험체 일람표

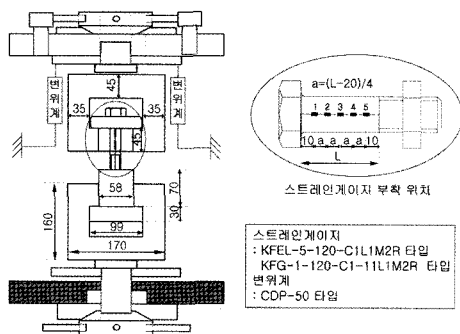
실험체명	사용 볼트	축부 직경 (mm)	볼트 개수 (개)	볼트 치수		베이스 플레이트 두께 (mm)	모르타르			항복 내력식 (kN·m)	실험결과	
				축부 길이 (mm)	나사부 길이 (mm)		높이 (mm)	치수 (mm)	강관 유무		최대 내력 (kN·m)	파괴 유형
No.1	앵커 볼트	22	12	30	150	28	65	450×450	×	263.01	309.47	콘크리트 압괴 볼트 항복
No.2	에너지 흡수형 고력볼트	19.5	12	55	85	28	65	600×600	○	495.84	390.76	기둥 용접부 파단 볼트 항복
No.3	에너지 흡수형 고력볼트	19.5	12	95	45	28	65	600×600	○	495.84	663.51	볼트 항복 베이스 플레이트 항복
No.4	에너지 흡수형 고력볼트	19.5	4	95	45	16	65	600×600	○	248.30	174.64	볼트 항복 베이스 플레이트 항복



〈그림 6〉 실험체 디테일

다고 판명된 기존의 F10T-M22 고력볼트의 직경 22mm 축부를 19.5mm로 절삭 가공하여 사용하였다. 3) 인장시험은 〈그림 5〉와 같이 실시하였다.

베이스 플레이트, 패스너 플레이트, 모르타르 구속용 강관은 SS400급 판재를 가공하여 사용하였으며, 소재의 인장시험은 KS B 0801의 금속재료 인장시험편 규정을 따라 실험체로부터 시험편을 채취하여 1000kN 만능시험기를 이용하여 KS B 0802의 금속재료 인장시험 방법에 의해 소재시험을 실시하였다. 각 소재시험편 2개씩의 결과 평균값을 〈표 4〉에 나타낸다.



〈그림 5〉 계측계획(단위:mm)

〈표 4〉 소재시험 결과(평균값)

시편	항복 응력 (MPa)	최대 응력 (MPa)	연신 율 (%)	항복 비 (%)		
에너지 흡수형 고력볼트	1068	1114	20	96		
기존 앵커볼트	308.5	450.5	34	68		
H-250×250× 9×14 SM490	Web	435.1	556.9	28	78	
	Flange	386.9	528.3	30	73	
베이스 플레이트 SS400	두 께	16	290.9	465.3	32	63
		28	352.0	495.6	28	71
모르타르 강도	52.5(MPa)					

## 4. 탄소성 재하실험

### 4.1 실험계획

신형상 노출형 주각부의 구조성능 실험을 위한 실험체 상세를 〈표 5〉와 〈그림 6〉에 나타내었다. 실험의 파라메타는 기존 앵커볼트 및 에너지 흡수형 고력볼트의 축부 길이 및 개수, 베이스 플레이트 두께, 모르타르의 치수, 모르타르 구속용 강관의 설치 유무 등이다. 에너지 흡수형 고력볼트의 축부 길이는 주각부의 회전 강성 및 변형 성능을 결정하고, 베이스 플레이트의 두께는 주각부의 파괴 메커니즘을 결정하는 파라메타이다.

실험체 No.1은 기존 앵커볼트를 사용한 기본 실험체이고, 실험체 No.2는 기존 앵커볼트 대신에 에너지 흡수형 고력볼트를 사용함으로써 에너지 흡수형 고력볼트의 성능을 검증하기 위함이다.

실험체 No.3은 실험체 No.2와 에너지 흡수형 고력볼트의 사용과 치수 등은 같은 실험체이지만, 에너지 흡수형 고력볼트의 축부 길이와 나사부 길이의 변화를 주어 축부로의 응력 집중을 극대화하였다.

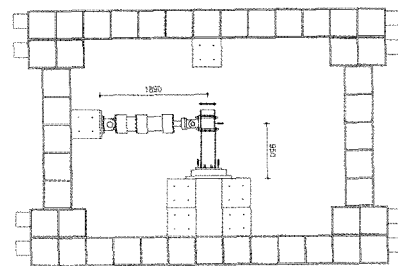
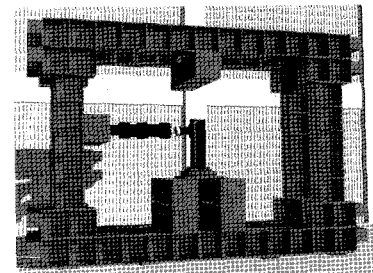
실험체 No.4는 에너지 흡수형 고력볼트의 개수를 12개에서 4개로 줄이고, 베이스 플레이트 항복형으로 유도하기 위하여 베이스 플레이트의 두께를 16T로 설정하였다.

또한 가력 프로그램은 〈표 6〉에 나타난 것과 같이 하중점과 강재 템플릿과의 높이를 기준으로 데이터 샘플링 주파수는 20~60Hz, 액추에이터의 가력속도는 1mm/min으로 하여 준정적 가력실험을 수행하였다.

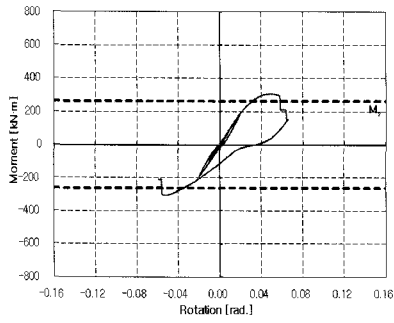
〈표 6〉 재하 프로그램

하중영역	재하변위 (rad)	사이클	재하 속도	샘플링 주파수
미진영역 (풍하중)	1/500	3	1mm /min	20Hz
약진영역 (풍·지진영역)	1/250	3	1mm /min	20Hz
중대진영역 (지진하중)	1/100	2	1mm /min	40Hz
대진영역 (지진하중)	1/50	파단 까지	1mm /min	60Hz

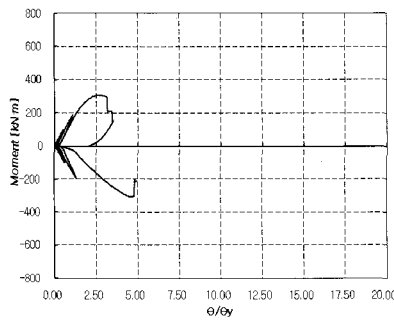
가력은 서브펄스형 액추에이터를 이용하여 〈그림 7〉과 같이 기둥정부를 수평가력 하였다. 변위의 계측은 하중점에 100mm형 LVDT 1개를 설치하여 변위량을 계측하였다. 또한 에너지 흡수형 고력볼트, 기둥 및 베이스 플레이트에 스트레인게이지를 사용하여 변형량을 계측하였다.



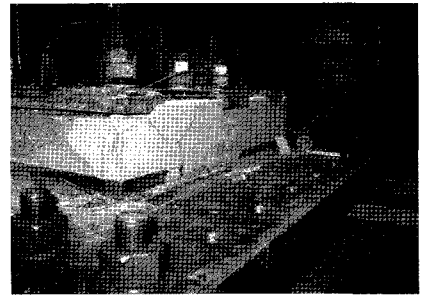
〈그림 7〉 재하장치의 개념도



(a) 실험결과

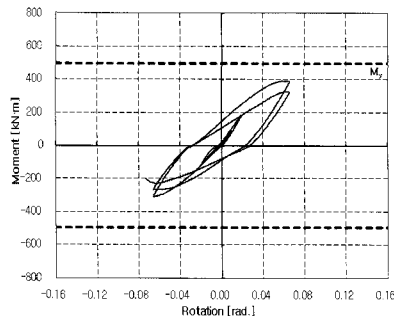


(b) 이력곡선의 분해

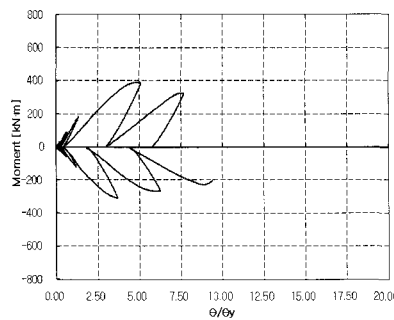


(c) 실험 후 사진

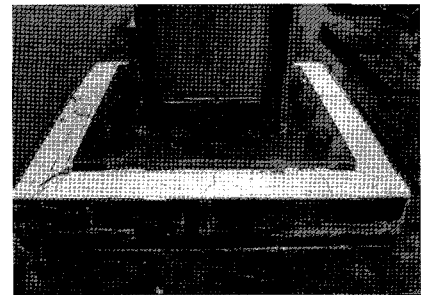
〈그림 8〉 실험체 No.1 (모르타르 압괴 및 앵커볼트 나사부 파단)



(a) 실험결과

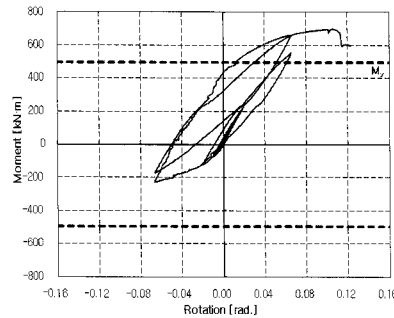


(b) 이력곡선의 분해

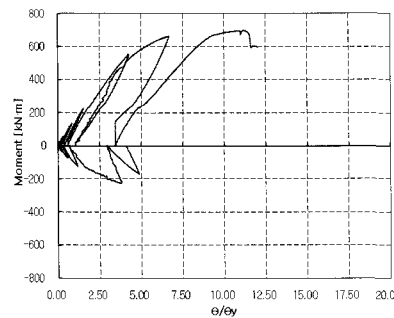


(c) 실험 후 사진

〈그림 9〉 실험체 No.2 (기둥 용접부 파단)



(a) 실험결과

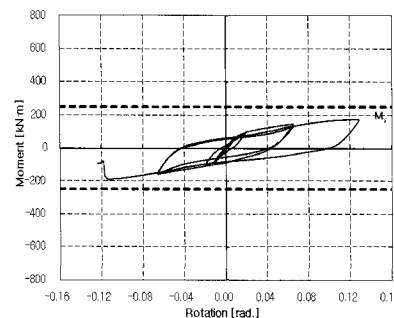


(b) 이력곡선의 분해

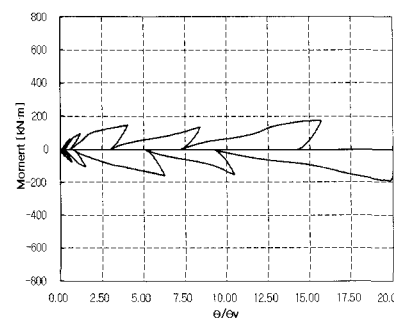


(c) 실험 후 사진

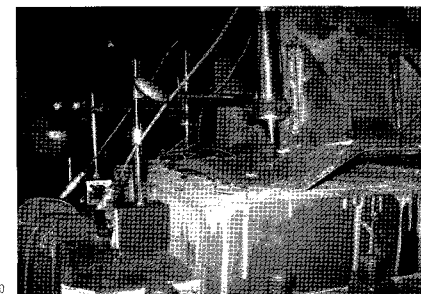
〈그림 10〉 실험체 No.3 (에너지 흡수형 고력볼트 소성 변형 및 베이스 플레이트 휨)



(a) 실험결과



(b) 이력곡선의 분해



(c) 실험 후 사진

〈그림 11〉 실험체 No.4 (에너지 흡수형 고력볼트 소성 변형 및 베이스 플레이트 소성변형)



## 4.2 실험결과

〈그림 8〉은 28T 베이스 플레이트와 축부 30mm, 나사부 150mm인 앵커볼트 12개를 사용한 실험체 No.1 주각부의 실험결과이다. 모르타르 구속용 강관을 사용하지 않아 모르타르의 압괴 및 박리가 두드러졌으며, 최종적으로는 앵커볼트의 파단으로 실험을 중단하였다.

〈그림 9〉는 28T 베이스 플레이트와 축부 55mm, 나사부 85mm인 에너지 흡수형 고력볼트 12개를 사용한 실험체 No.2 주각부의 실험결과이다. 실험체 No.3 주각부와는 차이점은 사용한 에너지 흡수형 고력볼트의 축부 길이가 다르다는 점이다. 축부 길이에 의하여 최대내력이 실험체 No.3 주각부에 비하여 다소 감소했음을 알 수 있다.

〈그림 10〉은 28T 베이스 플레이트와 축부 95mm, 나사부 45mm인 에너지 흡수형 고력볼트 12개를 사용한 실험체 No.3 주각부의 실험결과이다. 재하이력 곡선은 재하지그인 기동의 변형을 포함하여 0.1라디안까지의 변형을 나타내고 있다. 그러나 앵커볼트를 사용한 실험체 No.1 주각부는 모르타르의 압괴 및 앵커볼트의 파단으로 에너지 흡수형 고력볼트를 사용한 실험체 No.3 주각부의 절반정도의 변형 성능을 나타내고 있다. 이것으로 에너지 흡수형 고력볼트를 사용한 신형상 노출형 주각부의 변형 성능은 검증되었다고 할 수 있다.

〈그림 11〉은 16T 베이스 플레이트와 축부 95mm, 나사부 45mm인 에너지 흡수형 고력볼트 4개를 사용한 실험체 No.4 주각부의 실험결과이다. 재하이력곡선은 베이스 플레이트의 소성화 및 에너지 흡수형 고력볼트의 소성화로 인하여 역 S자 형태의 이력 루프를 그리고 있는 것을 알 수 있다. 다만, 베이스 플레이트의 두께가 얇아지고, 사용된 에너지 흡수형 고력볼트가 4개로 감소되었기 때문에 최대내력이 상당히 떨어진 것을 알 수가 있다. 베이스 플레이트가 먼저 항복한 후 에너지 흡수형 고력볼트의 파단으로 실험을 종료하였다.

모르타르 구속용 강관을 사용한 실험체의 경우, 모르타르의 압괴 및 박리 현상은 관찰되지 않았으며, 강관의 이음 용접부에서 파단이 일어났다. 즉, 모르타르 구속용 강관의 역할은 수직 방향의 오차 흡수뿐만이 아니라 모르타르의 압괴 및 박리현상을 어느 정도 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 노출형 주각부의 시공 성능 및 역학적 성능을 획기적으로 개선할 수 있는 형태의 강구조 신형상 노출형 주각부를 개발하여, 구조 성능 평가를 위한 탄소성 재하실험을 수행하였다. 개발된 신형상 노출형 주각부는 수평 방향과 수직 방향의 시공 오차를 현장에서 간단히 흡수하여 기존 노출형 주각부의 시공 불량을 사전에 방지함으로써 구조 성능을 발휘한다. 즉, 패스너 플레이트를 용접하기 전에 수평 방향의 오차를 흡수할 수 있고, 모르타르를 충전하기 전에 너트를 이용하여 레벨을 조절함으로써 수직 방향의 오차도 흡수할 수가 있다. 또한 에너지 흡수형 고력볼트를 사용함으로써 변형 성능이 20% 정도 증가하여 볼트의 사용 개수를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0023674).

- 참고문헌 -

1. 이승재, 박재성, 오상훈, 강창훈, 철골 노출형 주각부의 탄소성 재하 실험, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2007.
2. 이승재, 박재성, 오상훈, 강창훈, 시공오차 제어 가능형 강구조 노출형 주각부의 제안, 한국공간구조학회 학술발표대회 논문집, 2007.
3. 박현숙, 이승재, 오상훈, 강창훈, 이성민, 축부 절삭가공형 고력볼트의 강도 및 변형성능에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2005.
4. 이승재, 박재성, 오상훈, 강창훈, 고력볼트의 변형능력을 향상시킨 강구조 보-기둥 접합부의 비선형해석, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2007.
5. 김정현, 이승준, 축력과 모멘트를 받는 H형강 주각부의 거동에 관한 해석적 연구, 한국강구조학회 논문집, 2005.
6. 오상훈, 에너지 평형법에 의한 건축물의 내진설계, 구미서관, 2006.
7. 山田 哲, 秋山 宏, 高橋 誠, 桂 大輔, 水谷 美和, 施工精度を向上させる改良型露出型柱脚に関する實驗的研究, 日本建築構造系論文集, 2003.

(접 수 일 자 : 2011년3월28일)

(심사완료일자 : 2011년6월14일)

(게재확정일자 : 2011년6월30일)