

# CFT기둥과 H-형강보의 볼트 접합부에 관한 실험적 연구

## An Experimental study on the Bolted Moment Connection between H-Beam and CFT Column

박 순 규<sup>1)</sup> · 노 환 근<sup>2)</sup>  
*Park, Soon Kyu · Roh, Hawn Kewn*

요 약 : 본 연구의 목적은 CFT-기둥과 H-형강보의 볼트를 이용한 접합부의 형식을 제안하는 데 있다. 본 연구에서는 직선형, 굽힘형, U자형, 기성제품 고장력 볼트를 이용한 아홉가지 형식의 접합부를 제안하였다. 이 아홉가지의 접합부 형식에 대하여 단순 인장 실험을 수행하였으며, 이 실험 결과에 의해 성능이 우수한 형태를 선정하여 단순 휨 실험을 수행하였다. 그리고 단순 휨 실험을 통해 보-기둥 접합부의 구조적인 거동을 비교·분석하였다. 단순 휨 실험의 분석 결과, 휨 접합부의 구조성능은 상당히 우수한 것으로 나타났다으나 시공시 해결되어야 할 사항들이 남아 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT : The purpose of this study is to propose the prototypes of bolted end plate moment connection between CFT column and H-beam sections. Nine different types of bolt are designed in this study. The shapes of those bolt are straight, bent, hooked or stud-type. The end plate moment connection between CFT column and H-beam sections which are jointed by those bolts are studied experimentally to compare their performances. The simple beam bending tests are carried out to investigate the structural behavior of beam-to-column connections. The experimental results show that some of the bolted end plate connection types have quite good performance in the structural behavior but still have a lot of weak points to be solved for the efficiency of construction.

핵심용어 : CFT 기둥, 단부평판, 볼트 접합, 강도, 강성

KEYWORDS : CFT column, end plate, bolted connection, strength, stiffness

1) 정회원, 울산대학교 건축학부 교수, 공학박사  
2) 울산대학교 대학원 건축학부 석사과정

본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

콘크리트 충전 각형강관(Concrete Filled Steel Tube : CFT) 기둥은 적은 단면으로 높은 내력을 얻을 수 있고 변형능력이 뛰어나 고층 건물에 적합한 구조형식으로 주목받고 있다. 그러나 각형강관은 단면 형태가 접합부 시공상에 불리한 면이 있어 다른 형식의 철골기둥에 비해 폭 넓게 사용되지 않고 있다. 그러나 다른 지역과는 달리 일본에서는 각형강관 기둥이 비교적 많이 사용되고 있다. 일본에서 강관 기둥이 널리 사용되는 이유 가운데는 내진 성능이 탁월한 하다는 점을 들 수 있다. 그러므로 일본에서 상용되고 있는 기둥과 보의 접합방식은 주로 다이아프램을 이용한 접합 방식이 주로 사용되고 있다. 다이아프램 접합방식은 접합부의 구조성능은 우수한 것으로 알려져 있으나 제작과 운반 비용이 높아 연결부 부분의 비용의 증대가 불가피하므로 국내에서는 아직까지 적극적인 사용을 기피하고 있는 실정이다.

그러나 각형강관을 합성기둥으로 사용할 경우에는 콘크리트 공사를 위한 거푸집 공사가 필요 없을 뿐만 아니라 강관 자체의 성능에 따라 상부의 철구조물 설치 공사가 콘크리트의 양생 과정에 종속되지 않고 독립적으로 수행될 수 있는 장점이 있다. 아울러 기둥과 보 사이의 연결부가 적절히 개선될 수 있다면 강관은 파일로도 사용이 가능하므로 Top-Down 시스템에서 지하층 기둥으로도 사용될 수 있으므로 새로운 구조시스템을 구현할 수 있는 가능성이 매우 높다고 볼 수 있다. 그리고 그 동안의 연구 결과에 의하면 합성기둥의 내화성능도 상당히 개선될 수 있으므로 별도의 내화 피복 없이도 사용할 수 있는 가능성이 높아졌다. 이와 같이 각형강관이 갖고 있는 장점을 최대한 활용할 구조시스템을 구현하여 공사기간을 단축하므로써 경제성을 높이기 위해서는 기둥과 보사이의 접합부를 철골구조가 갖고 있는 가구식구조 공법에 적합하도록 개선하는 것이 무엇보다 먼저 해결되어야 될 전제 조건이 된다. 본 연구에서는 각

형강관 기둥 구조시스템의 장점을 최대한 활용할 수 있는 새로운 접합부 형식을 개발하기 위해서 실용화 가능성이 있는 다양한 형식에 대하여 접합부 성능 분석을 수행하고자 한다. 우선 시공성능 개선이라는 측면에서 CFT기둥과 H-형강 보의 접합부는 고장력볼트를 이용한 접합부 형식으로 선정하였다. 합성구조 시스템에서 철구조물 설치 기간에는 각형강관 단면이, 공사 완료시에는 CFT기둥이, 그리고 화재시에는 콘크리트만으로 작용하중에 저항할 수 있다면 철과 콘크리트를 가장 효과적으로 사용할 수 있을 것이다. 이러한 조건을 충족할 수 있는 합성구조 시스템을 개발하기 위하여 각형강관 단면은 두께가 비교적 얇은 냉간성형 강관으로 결정하였다.

구조체의 거동을 분석하기 위해서는 유한요소 해석 등과 같은 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 분석법과 실험에 의한 분석법을 사용할 수 있다. 그러나 일반적으로 접합부와 같이 경계조건이 매우 복잡한 경우는 아직도 컴퓨터에 의한 해석법에는 아직도 불충분한 부분이 많기 때문에 우선 실험을 수행하여 접합부 거동 특성을 비교·분석하는 방법을 선택하였다. 접합부의 설계를 위해서는 강구조 설계기준의 단부평판 접합부 설계법을 적용하였으며 볼트의 정착 성능 분석은 콘크리트의 부착 및 전단에 관한 극한강도설계기준을 적용하였다. 볼트의 역학적 성능을 분석하기 위해서 모멘트접합부의 인장부분에 대하여 인장 실험을 실시하였고 인장실험을 통해 성능이 우수하다고 판단되는 볼트 형식에 대하여 모멘트접합부를 설계하여 단순 휨실험을 수행하여 접합부의 역학적 성능을 분석하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 볼트 형태의 선정

CFT 기둥과 H-형강 보의 연결부를 볼트 접합으로 개선하기 위하여 우선 H-형강 기둥 접합

부의 경우에 일반적으로 사용되는 단부평판 접합부(End Plate Type) 형식을 선정하였다. 단부평판 접합부 형식에 효과적으로 사용될 수 있는 가능성이 높다고 판단된 볼트 형태를 다음과 같이 크게 세 가지로 구분하여 선정하였다.(그림1)

1) 관통형 곧은 볼트 (Penetrated Straight Bolt : SB)

강관 기둥을 관통하여 양쪽에 있는 보의 단부평판을 체결하는 형식의 볼트로 볼트의 양 단부에 나사선이 있어 양쪽에서 체결이 가능하다. 제작이 용이하여 경제성 면에서도 유리할 것으로 판단되나 양방향으로 연결될 경우 볼트간에 서로 간섭되며 각형강관 외부로 돌출되어 시공상 개선할 부분이 있다. 기둥의 크기에 따라 볼트의 길이도 같이 변해야 하므로 규격화의 어려움이 있고 경우에 따라서는 길이가 길어져 비경제적이 될 수도 있다. 그러나 볼트가 인장력을 받을 때 효과적으로 인장력에 저항할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 굽은 볼트 ( Bent Bolt : BB, UB)

관통형 곧은 볼트의 시공상의 문제점을 보완한 형식으로 관통형인 BB I 및 BB II, L자형인 BB III 및 U자형인 UB의 세 형식을 선정하였다. 관통형 굽은 볼트는 양쪽 방향에서 체결이 가능한 볼트로서 직선형 관통 볼트의 간섭 문제를 해결하기 위하여 선정된 형식이다. 볼트가 인장력을 받을 때 굽혀진 부분에서 콘크리트에 작용하는 지압 응력을 고려하여 이를 견딜 수 있도록 곡률이 큰 BB I과 지압 파괴가 일어 날 것으로 예상되는 곡률이 적은 BB II로 구분하여 곡률 변화에 따른 변화를 관측하고자 하였다. L자형 굽은 볼트는 인접한 두 방향에서 체결이 가능하여 서로 교차되는 시공상의 문제를 해결하기 위하여 선정된 형식이다. 이 형식은 기둥의 형상에 의하여 결정되어 지압 응력에 대해 볼트의 곡률 부족하게 결정되었다. U자형 굽은 볼트는 체결상에 해결해야 할 점은 있지만 한 방향에서 체결이 가능하므로 보 축의 변화에 따른 문제점을 해결하기 위하여 선정하였다.

3) 스티드형 볼트 (General Stud Bolt : GB)  
단부평판 접합부에 스티드형 볼트를 사용할 수 있는 가능성을 분석하기 위하여 기성제품의 스티드 볼트를 선정하였다. 스티드 볼트는 콘크리트와의 정착성능에 따라 인발능력이 결정되므로 볼트의 길이가 서로 다른 두가지 (GB I 및 Gb II)를 선정하였다. 또한 강관내부 콘크리트의 구속효과에 의한 스티드 볼트의 정착 성능 개선 정도를 분석하기 위하여 나선형 철근으로 보강된 기둥에 접합된 스티드 볼트 GB III를 선정하였다.

2.2 실험 계획

1) 접합부 인장 실험

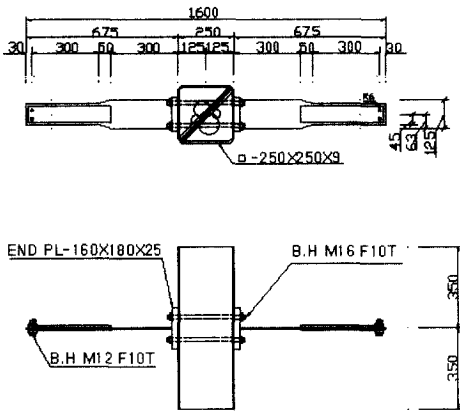
접합부에서 볼트의 역학적 성능을 분석하기 위해서 모멘트접합부의 인장 부분에 대하여 인장 실험을 실시하였다. 접합부 인장 시험체는 앞에서 제시된 볼트의 형태에 대하여 각형강관 기둥과 보의 모멘트접합부에서 인장 축 접합부만을 절취한 것으로 이상화하여 계획하였다. 기둥부재는 냉간성형 각형강관을 사용하였다. 각형강관은 SPSR41, 단부평판은 SS41의 재질을 사용하였다. 기둥에는 강도  $f_c = 210\text{kg/cm}^2$  인 레미콘 콘크리트를 충전하였다. 볼트는 F10T의 재질과 같은 성능을 갖도록 제작된 M16 볼트를 사용하였다. 충전 관통형 볼트에는 동일한 인장이 걸리도록 토크치 150Nm로 동일하게 체결하였다. 볼트의 형태 및 접합부 인장 시험체 형상은 그림 1과 같다.

표 1. 휨 시험체 일람

시험체명	각형강관 (mm)	H형강 (mm)	엔드플레이트 (mm)	볼트	콘크리트 (kg/cm <sup>2</sup> )
SED-F21	250X250X9	250X125 X6X9	.	.	210
SSB-F21	250X250X9	250X125 X6X9	160X18 (t=25)	M16	210
SBB I -F21	250X250X9	250X125 X6X9	160X18 (t=25)	M16	210
SBBIII-F21	250X250X9	250X125 X6X9	160X18 (t=25)	M16	210

SB-F01	SB-F21	UB-F01
BBI-F21	BBII-F21	BBIII-F21
GBI-F21	GBII-F21	GBIII-F21

a) 볼트 형태



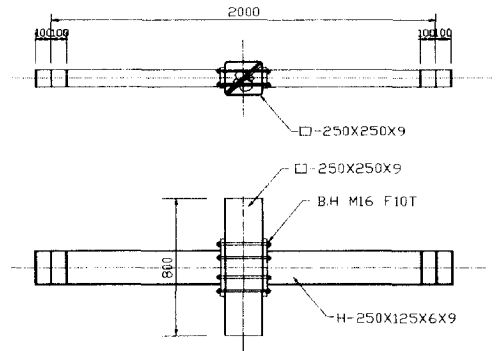
b) 접합부 인장 시험체

그림 1. 단순인장 시험체

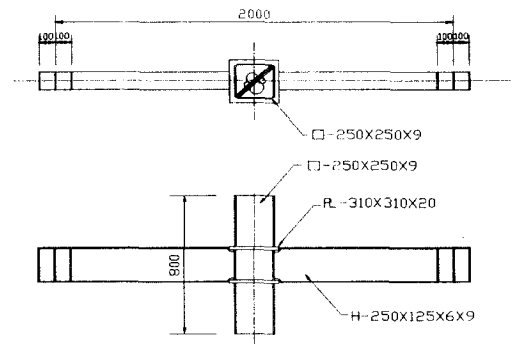
## 2) 휨 실험 계획

CFT 기둥과 H-형강 보의 모멘트접합부의 성능을 분석하기 위하여 접합부를 포함한 부분 구조의 휨 시험을 수행하였다. 모멘트접합부 시험체는 인장실험결과 접합부의 강성 및 강도가 큰 것으로 분석된 SB, BBI, BBIII 볼트 형식을 선정하여 계획하였다. 모멘트접합부에서는 H-형강보 인장부위의 인장 파괴, H-형강보 압축부위의 좌굴에 의한 파괴, H-형강과 단부평판 사이의 용접이음부 파괴, 단부 평판의 휨파괴, 단부평판 압축부위의

콘크리트의 압축 파괴 및 인장 볼트의 파괴 등의 파괴모드를 예상할 수 있다. 이 가운데에서 H-형강보 플렌지의 인장파괴모드는 가장 바람직한 파괴 모드일 것으로 예상된다. 이러한 점을 고려하여 용접부위, 단부평판 및 볼트의 성능이 H-형강의 성능보다는 다소 높게 설계될 필요가 있다. 단부 평판의 내력은 다소 여유 있게 제작되었으나 볼트는 제작된 것의 인장 성능이 불충분하므로 다른 부위 보다 내력이 다소 부족하게 설계되었다. 연결부의 설계는 현행 강구조 설계규준에 준하여 설계하였다. 모멘트접합부 시험체의 볼트조임은 토크치 210Nm로 동일하게 체결하였다. 기타 다른 사용 재료의 재질은 단순인장시험과 동일한 것으로 하였다. 볼트형식 접합부의 상대적인 성능을



a) 볼트형식 휨시험체



b) 관통형 외디아프램 접합부 시험체

그림 2. 휨 시험체의 형상 및 치수

비교하기 위하여 현재 일반적으로 사용되고 있는 관통형 내다이프램형 접합부 SED를 제작하여 휨 시험을 병행하였다. 휨모멘트접합부 시험체의 형상은 그림2와 같다.

### 3. 실험

#### 3.1 소재인장 실험

본 실험에 사용된 소재의 역학적 특성을 파악하기 위하여 강재 시험편은 KS B 0801의 14B호에 의거하여 시험편을 제작하고 KS B 0802의 금속재료 인장 시험방법에 의거 소재인장시험을 수행하였으며, 콘크리트는 KS F 2403에 의거하여 공시체를 제작하고 KS F 2405 공시체 강도시험에 의해 수행하였다. 각 시험편에 대한 시험 결과를 정리하면 표 2와 같다. 시험 결과 제작된 볼트의 강도 및 연신율이 F10T 볼트 기준에 비해 훨씬 부족한 것으로 분석되었다. 볼트는 울산시에 소재한 철가공 회사에서 제작되었다. 그러나 품질을 F10T에 적합하도록 제작하는 데는 현재의 현실 여건상 다소의 어려움이 있어 부족한 점이 없지는 않으나 기술적 성능을 분석하기에는 별무리가 없을 것으로 판단되어 그대로 사용하였다. 그러나 다른 소재의 재질은 모두 기준에 적합한 것으로 분석되었다.

표 2. 소재 인장강도 시험결과

시험 편	규격	항복강도 (t/cm <sup>2</sup> )	극한강도 (t/cm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
각형강관	9t	3.78	4.88	15
Flange	9t	2.87	4.31	24.3
제작 볼트	M16	5.26	6.01	2.97
기성 볼트	M16	9.18	10.2	14
철 근	D10	3.51	5.40	20.84
콘크리트	4주 압축 강도 208.1 kg/cm <sup>2</sup>			

#### 3.2 접합부 인장 실험

기둥과 보의 접합부에 사용된 볼트의 인장성능

을 분석하기 위하여 실시된 단순인장 시험은 유압식 만능 시험기(MT-200C)를 이용하여 그림3과 같이 플랜지의 양단을 고정시켰다. 하중의 재하는 접합부의 파괴 양상을 관찰하기 위하여 상·하방향으로 단조 인장이 작용하도록 만능시험기를 이용하여 가력하였다. 시험체의 변위 측정은 볼트 단부에서와 강판면으로 부터 200mm 떨어진 플랜지 부위에 앵글을 고정한 후 변위계를 설치하여 측정하였다. 또한 플랜지에서 응력 전달 체계와 엔드플레이트 중앙부의 거동을 파악하기 위해 스트레인 게이지를 부착하여 변형도를 측정하였다. 데이터 측정장치는 스트레인 미터를 사용하였다.

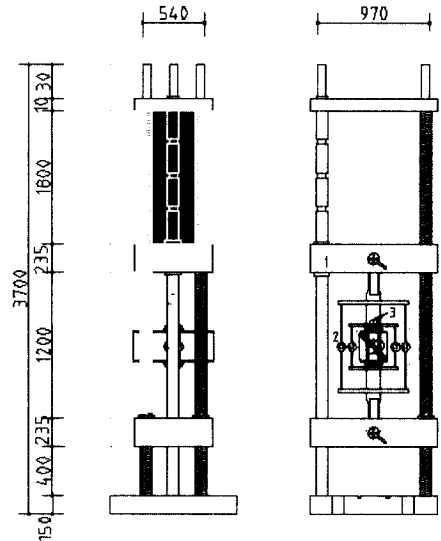


그림 3. 단순인장 시험체의 설치 및 가력도

#### 3.3 휨 실험

기둥과 보의 모멘트접합부의 휨성능을 분석하기 위한 시험체를 Load Frame에 양단 단순보로 고정하고 중앙부에서 100t 유압잭을 사용하여 단조 하중을 가하였다. 접합부의 역학적 특성을 분석하기 위하여 중앙부에서의 수직변위와 접합부의 인장 및 압축 부위에서 수평변위를 측정하였다. 또한 보의 인장 및 압축 부위의 응력 상태를 분석

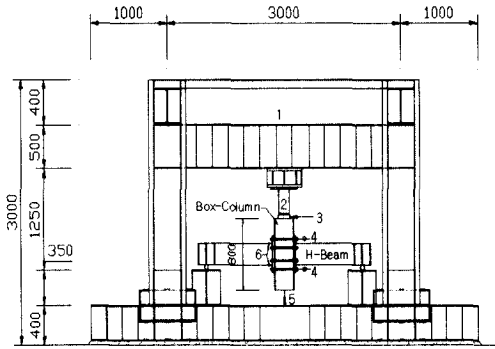
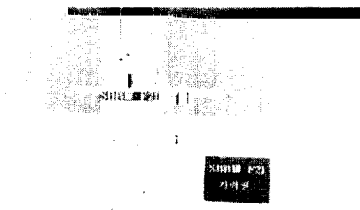


그림 4. 휨실험 현황

하기 위하여 상·하부 플랜지에서 변형율을 측정하였다. 휨시험체의 설치현황은 그림 4와 같다.



a) 시험체 set-up

b) 실험종료

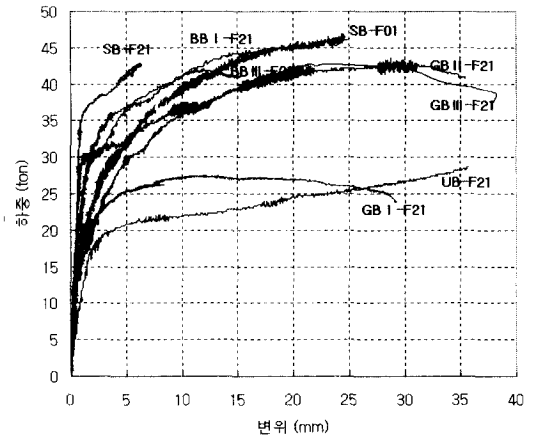
그림 5. 휨실험 현황 사진

## 4. 실험 결과 및 분석

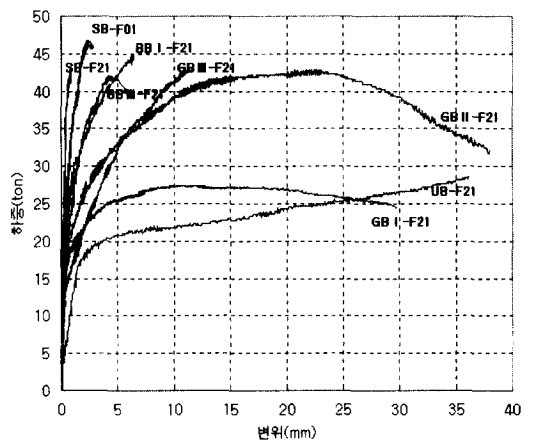
### 4.1 접합부 인장 실험

#### 1) 실험 결과

단순 인장 실험에서는 볼트, 단부평판 및 플랜지로 이루어진 시험체 전체에 관한 변위와 인장 볼트에서의 변위를 측정하였다. 측정된 하중과 변형과의 관계를 정리하면 그림 6과 같다. 볼트 종류별로 파괴 형태 및 역학적 특성을 분석하면 다음과 같다.



a) 접합부 전체



b) 연결 볼트

그림 6. 하중-변위 곡선

(1) 관통형 끈은볼트 접합부

콘크리트가 충전되지 않은 SB-F01시험체의 경우 볼트의 파괴로 실험이 종료되었으나 인장 플랜지에도 파괴에 가까운 변형을 보였다. 콘크리트가 충전된 SB-F21시험체의 경우도 SB-F01시험체의 파괴 유형과 유사하였으나 최종파괴는 플랜지에서 발생했다. 최대하중은 각각 46.3ton, 42.6ton으로 관통형 끈은볼트는 인장 성능에서의 콘크리트 충전에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. SB-F01와 SB-F21 실험체의 변형 특성은 볼트의 파단에 의한 취성파괴가 발생하였다.

(2) 굽은 볼트 접합부

BBI-F21시험체는 플랜지의 파괴로, BBII-F21시험체는 볼트의 파괴로 각각 시험이 종료되었다. 두 시험체의 경우 모두 최대 파괴강도는 직선형 볼트 접합부에 가까운 강도를 가졌다. L형 굽은 볼트 접합부 BBIII-F21 시험체는 너트의 파괴에 의해 실험이 종료되었으며 최대 파괴강도는 44.76ton으로 직선형 볼트 접합부와 유사하였다. 굽은 볼트 접합부 변형 특성은 BBI-F21, BBIII-F21 실험체 모두 볼트의 파단에 의한 취성 파괴가 발생하였다.

(3) 스티드 볼트 접합부

스티드형 볼트 접합부는 볼트 길이에 따라 접합부 성능에 많은 차이를 보이고 있다. 볼트 길이가 50mm인 GBI-F21와 100mm인 접합부 GBII-F21, GBIII-F21은 모두 볼트의 인발에 의해 실험이 종료되었으며 볼트의 최종 인발길이는 각각 50mm, 70mm, 70mm정도로 나타났다. 파괴시 최대강도는 각각 27.43ton, 42.63ton, 42.73ton으로 볼트 길이가 길어지면 인장성능이 증가하는 것으로 나타났다. GBI-F21, GBII-F21, GBIII-F21 시험체는 볼트가 인발될 때 각 형강관의 프렌지 부분이 볼록하게 불어나는 것이 관측되었고 볼트가 강관으로 부터 빠져 나오면서 실험이 종료되었다.

2) 강성 및 강도 분석

각 시험체의 접합부 강성 및 강도를 상대적으로 평가하기 위하여 그림 7과 같은 방법에 의해 접합부의 항복점을 정의하였다. 즉 하중-변위 관계곡선에서 초기강성구배( $\alpha$ )를 갖는 직선과 초기강성구배( $\alpha$ )의 1/3인 직선을 평행이동 시킨 교점에서 그린 수평선과 변형곡선이 만나는 점을 항복점으로 정하였다. 접합부 강성은 초기접선 기울기로 정의하였다. 또한 국부적 파괴로 인하여 작용하중이 감소될 때의 내력을 최대내력으로 정의하였다. 각각의 시험체 별로 항복 내력 및 변위, 극한 내력 및 변위와 강성을 표 3에 정리하였다. 각각의 접합부에 대한 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

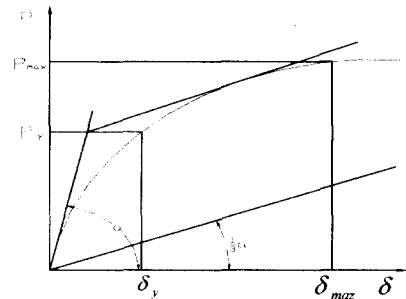


그림 7. 항복강도 및 초기강성 결정방법

표 3. 단순 인장 실험체의 강성 비교 (단위:t.mm)

시험체명	$P_y$	$\delta_y$	$P_{max}$	$\delta_{max}$	$K_y$	$sK_y$
SB-F01	36.33	1.116	46.58	2.373	32.55	0.43
SB-F21	38.50	0.506	42.79	0.847	76.09	1.0
BB I-F21	25.1	0.64	44.14	6.371	39.22	0.52
BBII-F21	23.49	0.313	44.24	2.73	75.05	0.98
BBIII-F21	25.73	1.103	41.85	4.351	23.33	0.31
GBI-F21	15.62	0.421	27.43	29.816	37.1	0.49
GBII-F21	16.88	0.519	42.38	37.96	32.52	0.43
GBIII-F21	12.11	0.249	42.73	10.926	48.63	0.64
UB-F21	15.26	1.304	28.68	36.19	11.70	0.15

주)  $P_y$  : 항복 하중,  $P_{max}$  : 최대 하중,

$\delta_y$  : 항복 변위,  $\delta_{max}$  : 최대 변위

$K_y$  : 초기강성,  $sK_y$  : SB-F21에 대한 상대 강성비

(1) 관통형 곧은 볼트 접합부

콘크리트가 충전된 SB-F21접합부와 콘크리트가 충전되지 않은 SB-F01 접합부는 인장 강도는 거의 비슷한 것으로 분석되었으나 초기강성은 상당한 차이를 보이는 것으로 나타났다. SB-F21접합부에서의 강성이 SB-F01 접합부에서의 강성에 비해 약 2배 정도 증가한 것으로 분석되었다. 이는 볼트에 작용한 초기 인장력에 의한 영향으로 분석되었다.

(2) 굽은 볼트형 접합부

BBII-F21 접합부의 인장 강도와 초기강성은 SB-F21 접합부와 거의 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 볼트 곡률이 작은 BBI-F21 접합부는 SB-F21 접합부와 비교할 때 강성이 약 50% 정도에 불과한 것으로 나타났다. BBIII-F21의 초기강성 및 인장강도는 BBI-F21과 매우 유사한 것으로 나타났다. UB-F21 접합부는 인장강도 및 강성이 다른 것에 비해 아주 적은 것으로 분석 되었다. 이상의 결과로부터 충전 콘크리트 내부에 사용되는 볼트는 콘크리트의 지압응력에 적절한 곡률을 갖도록 하면 직선형 관통 볼트와 비슷한 정도의 성능을 얻을 수 있는 가능성이 높은 것을 알 수 있다.

(3) 스타드형 볼트 접합부

GBI, GBII 시험체에서 Stud형 볼트의 길이에 대한 영향은 초기강성 및 시험체의 항복내력에는 큰 영향이 없지만 길이가 긴 Stud형 볼트는 시험체의 극한 내력은 약 43%정도 상승효과를 보였다. GBII-F21, GBIII-F21의 초기강성 및 극한하중은 서로 유사하게 나타난 것으로 보아 내부의 철근보강은 특별한 효과가 없는 것으로 볼 수 있다. CFT기둥 플랜지 철판이 내부에 시공된 스타드 볼트의 정착성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Morita가 제안한 강관 플랜지의 휨성능을 콘크리트에 의한 정착성능에 합하여 비교 분석한 결과를 표 4에 정리하였다. 이로부터 스타드형 볼트의 극한 내력은 콘크리트에 의한 정착성능과 강관 플랜지의 휨성능을 누가한 내력과 상당히 가까운 것으로 분석되었다.

표 4. 실험결과와 내력 평가의 비교 (단위 : ton)

시험체	누가내력		실험치	이론치 / 실험치
	부착파괴	전단파괴		
GB I - F21	29.31	29.62	27.33	1.07
GB II - F21	35.6	36.18	42.63	0.84
GB III - F21	35.6	36.18	44.14	0.81

4.2 모멘트접합부 휨 실험

1) 실험 결과

각 시험체 별로 측정된 보의 중앙부에서 측정된 수직 변위를 측정하였다. 측정된 변위와 작용 하중과의 관계를 정리하면 그림 8과 같다.

실험결과 조사된 시험체의 파괴유형은 직선형 볼트 휨시험체(SSB-F21) 및 굽은 볼트형 휨시험체(SBBI-F21, SBBIII-F21)의 경우 모두 인장측 볼트의 파괴로 실험이 종료되었다. 휨시험체 전체의 휨변형은 다소의 연성이 있는 거동을 보이고 있으나 모멘트접합부만의 거동은 연성이 거의 없는 취성 파괴의 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 접합부 인장 실험 결과로부터 예측할 수 있는 양상으로 전반적으로 볼트의 연성이 떨어져서 발생한 현상으로 판단된다. 보의 인장 및 압축 플랜지에서 측정된 변형률을 압축 부분이 먼저 항복한 후에 인장 부분이 항복하는 것으로 나타났

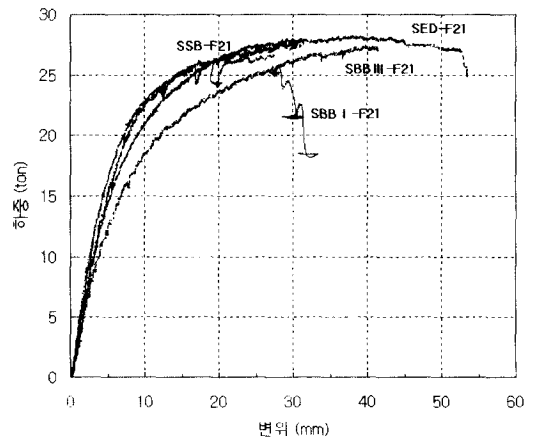


그림 8. 휨시험체의 접합부 하중-수직변위 관계



다. 그러나 볼트의 인장 성능이 부족하여 접합부 전체는 볼트 파괴에 의한 취성파괴의 양상을 나타냈다. 그러므로 본 실험에 사용된 볼트는 기계적 성질면에서 개선되어야 할 점이 많은 것으로 판단되었다.

2) 강성 및 강도 분석

각 시험체의 접합부 강성을 상대적으로 평가하기 위하여 그림 9와 같이 초기강성  $K_0$ 와 할선강성  $K_s$ , Beam line방정식에 의해 결정되는 강성  $K_b$ 를 이용하여 세가지 측면에서 분석하였다. 할선강성은 1990년 Kishi와 Chen에 의해 정의된 것으로 이는 초기강성이 실제 해석에서 너무 높게 평가되어지기 때문에 감소효과를 고려한 것이다. Beam line이론에 의해 정의된 강성은 Beam line과 모멘트-회전각 곡선이 만나는 지점을 연결한 기울기로 1990년 Barakat과 Chen에 의해 정의되었다. 시험체의 접합부에 대한 휨 강성을 분석하기 위하여 접합부의 모멘트-회전각 관계를 구할 필요가 있다. 실제로는 접합부의 회전각을 직접 측정하기 곤란하므로 다음과 같은 방법에 의해 간접적으로 모멘트-회전각 관계를 구할 수 있다.

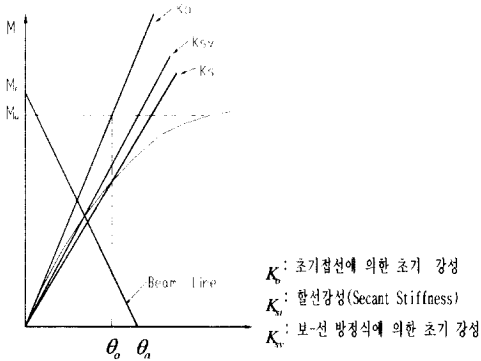


그림 9. 초기강성 결정 방법

(1) 방법 1 : 단순보의 집중하중과 중앙부 최대 수직변위와의 관계로부터 접합부 모멘트-회전각 관계를 간접적으로 산정할 수 있다. 식 (1)에서와 같이 측정된 수직변위에서 H형강보의 탄성 휨변형을 소거한 후 접합부만의 회전각을 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{2(\Delta - \delta)}{(L - w)} \quad (1)$$

여기서,  $L$  = 휨시험체 스펠

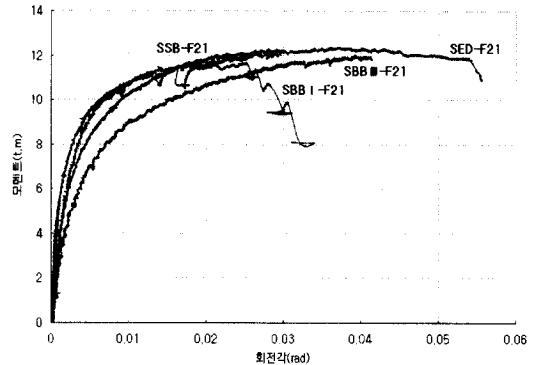
$w$  = 강관 폭

$\Delta$  = 접합부 전체의 처짐

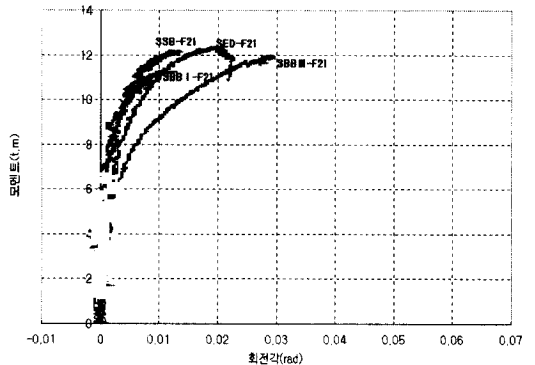
$\delta$  = 보의 탄성 처짐

이 방법에 의해서 구해진 접합부의 회전각은 보 부분이 탄성 변형하는 경우에는 적합하다. 그러나 만약 보 부분이 소성 변형하게 되면 실제보다 접합부 회전각이 과대 평가될 가능성이 매우 높다.

(2) 방법 2 : 단부평판의 변형이 적을 경우에는 측정된 단부평판의 수평변위를 측정 거리로 나



a) 휨시험



b) 모멘트접합부

그림 10. 휨시험체 및 접합부 모멘트-회전각 관계

누어 회전각을 구할 수 있다. 그러나 이 경우에도 단부평판이 부분적으로 변형할 경우에는 구하는 회전각의 신뢰성이 부분적으로 과대평가될 가능성이 있다. 이상의 두가지 방법에 의해 각 휨시험체에 대하여 모멘트-회전각 관계를 구해서 정리하면 그림 10과 같다.

그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 두가지 방법에 의한 실험결과를 보면 서로 상이한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 첫 번째 방법에 의한 결과에서 접합부 회전각이 더 큰 이유는 보의 소성변형을 고려하지 않아 접합부의 회전을 과대평가하고 있기 때문이라 볼 수 있다. 측정된 단부평판의 국부 변형은 무시할 수 있을 정도로 아주 미소하므로 본 연구에서는 두 번째 방법으로 얻은 결과를 분석에 사용하였다. 이상과 같은 방법에 의해서 구해진 각 접합부의 강성을 내부 다이아프램으로 설계된 접합부의 강성과 비교하여 표 5에 정리하였다. 분석 결과로부터 관통형 볼트 접합부의 강성이 내부 다이아프램에 비해 6%에서 45% 정도 더 큰 것으로 분석되었다. 그러나 L자형 볼트 접합부는 내부 다이아프램에 비해 강성이 다소 적은 것으로 분석되었다.

표 5. 휨시험체 접합부강성

실험체명	접합부강성 ( $t \cdot m/rad$ )			상대 강성비		
	$K_o$	$K_{si}$	$K_{sv}$	$sK_o$	$sK_{si}$	$sK_{sv}$
SED-F01	8955	6645	7413	1.0	1.0	1.0
SSB-F21	9512	7285	9636	1.06	1.1	1.3
SBB I-F21	11973	8077	10749	1.34	1.22	1.45
SBBIII-F21	8105	5822	4521	0.91	0.88	0.61

또한 접합부의 강접 성능을 고찰하기 위하여 AISC에서 정한 Beam Line에 의한 기준을 적용하여 접합부 분류를 실시하였다. 접합부의 구속 정도는 Beam Line과 접합부의 모멘트-회전각 관계 곡선이 만나는 점에서의 모멘트의 비로써 나타낼 수 있다. AISC에서는 철골 골조형식을 접

합부의 구속정도를 고정단 보의 단부 모멘트 $f$ 에 대한 상대비로서 다음과 같이 분류하고 있다.

- 1) 단순 접합 : 완전 고정단 보의 단부 모멘트의 20%이하
- 2) 반강접 접합 : 완전 고정단 보의 단부 모멘트의 20%에서 90%사이
- 3) 완전 강접합 : 완전 고정단 보의 단부 모멘트의 90%이상

본 연구에서 실험된 보는 H-250×125×6×9로서 고정단일 경우 단부모멘트가 7.78tm이므로 Beam Line에 의한 접합부의 상대적인 성능을 표 6에 정리하였다. 본 연구에서 실험에 사용한 관통형 볼트는 AISC 분류에 따를 경우 반강접 접합부로 분류될 수 있음을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용된 관통형 볼트는 기계적 성질을 개선될 수 있는 여지가 많고 충전기둥에서는 볼트의 초기 인장력을 적절히 조절할 수 있으므로 휨 성능을 개선할 수 있는 가능성은 매우 높을 것으로 분석된다.

표 6. 접합부 휨강도 성능평가

시험체명	접합부 휨강도(tm)	구속도(%)	
		보기준	외다이아프램기준
SED-F21	6.12	78.66	100
SSB-F21	6.2	79.69	101
SBB I-F21	6.78	87.15	111
SBBIII-F21	5.05	64.91	83

$$\text{보기준} = \frac{M_p}{M_f} \times 100 (\%)$$

$$\text{외다이아프램기준} = \frac{M_p}{M_{SED}} \times 100 (\%)$$

## 5. 결 론

이상과 같이 본 연구에서 수행된 콘크리트충전 각형강관 기둥과 H형강 보의 볼트 접합부의 거동 특성에 관한 실험 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 본 연구에서 실험에 의해 분석된 직선 및 굽은 관통형 볼트로 접합된 단부평판 접합부 성능

은 반강접 접합부로 분류될 수 있다. 관통형 볼트(SB 및 BB)로 접합된 단부평판 접합부는 기존의 내다이아프램 형식과 거의 같은 성능을 보이고 있고 또한 관통형 볼트는 기계적 성질을 개선할 수 있는 여지가 있고 초기 긴장력을 적절히 조절할 수 있으므로 휨성능을 개선할 수 있는 가능성이 높다.

2) CFT 기둥에 정착된 스티드형 볼트의 극한 내력은 강관의 휨 내력과 볼트의 정착내력의 산술적인 합과 거의 일치하는 것으로 분석되었다. 그러므로 보통의 콘크리트 구조물에 정착될 때에 비해서 훨씬 적은 정착길이로 인장내력을 발휘할 수 있으므로 시공성 보완·개선된다면 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

3) 굵은 볼트가 CFT기둥에서 연결재로 사용될 경우 콘크리트의 직압응력이 과대하지 않도록 적절한 곡률을 갖도록 하면 기둥내부에서 효과적으로 사용될 수 있는 가능성이 높다.

## 참 고 문 헌

- (1) 이종석, "각형강관 기둥-H형강보 접합부의 극한 휨 거동에 관한 연구", 한국강구조학회 논문집, 1994.6.
- (2) 신상훈, "H형강보-각형강관 기둥의 단부 평판 접합부 거동 분석에 관한 연구", 울산대학교 석사학위 논문, 1995.
- (3) 이광훈, "콘크리트 충전된 각형강관 기둥과 콘크리트 합성된 H-형강보 접합부의 유한요소 모델링에 관한 연구", 울산대학교 석사학위 논문, 1995.12.
- (4) 변우정, "충진콘크리트 각형강관과 콘크리트-H형강 합성보 접합부의 유한요소 모델링에 관한 연구", 울산대학교 석사학위논문, 1995.12.
- (5) 장재호, "각형강관 기둥-H형강보 접합부에 관한 실험적 연구", 한양대학교 석사학위 논문, 1992.6
- (6) 서울대학교 공학연구소, "CFST 합성구조의 내진 안전성 확보를 위한 접합부 성능 개발 연구", 건설교통부 협력연구과제 1차년도 최종보고서, 1996.10
- (7) 강중현, 문태섭, 이명재, 오영석, 신경재, 각형강관 기둥-H형강보 접합부에 관한 연구(I) 다이아프램이 없는 접합부의 휨가력 실험, 한국강구조학회 학술발표논문집, 1993.6.
- (8) 김옥선, 홍갑표, 반강접 접합부를 가진 철구조물의 거동에 관한 연구, 1993년 춘계학술발표대회 논문집, 통권 제25집.
- (9) 이장춘, 각형강관 기둥과 H-형강보 접합부의 휨거동에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, 1994.
- (10) Morita k., Yamamoto m., Ebato K., "Analysis on the strength of unstiffened be an flange to RHS column connection based on the combined yield line model", Proceedings, International Symposium on tubular Structures, 1989.
- (11) AISC, "Manual of Steel Construction : Volume II Connection", First Edition, 1992

(접수일자 : 1998년 11월 5일)