

# 인장웹브재 형태에 따른 각형강관 겹K형 접합부의 거동 비교

## Comparison on the Behavior according to Shapes of Tension Web member in gap K-joints in Cold-formed Square Hollow Sections

정 상 민<sup>1)</sup> · 배 규 웅<sup>2)</sup> · 문 태 섭<sup>3)</sup>  
Jeong, Sang Min · Bae, Kyu Woong · Moon, Tae Sup

**요 약**: 본 논문의 목적은 트러스 인장웹브재의 형상이 정방형 각형강관인 기존 연구(강관웹브형)와 고장력 강봉을 인장웹브재로 사용하기 위해 연결플레이트를 가지는(강봉웹브형) 냉간성형 각형강관 겹 K형 접합부의 거동 비교를 통하여 고장력 강봉 사용의 적정성을 알아보기 위한 것이다. 주관폭두께비가 33.3으로 동일한 강관웹브형 실험체 4개와 강봉웹브형 실험체 8개의 최대내력, 파괴모드, 초기강성, 연성을 등을 비교하였다. 비교 결과, 접합부의 내력은 강관웹브형에서는 압축지관의 선행파괴로 결정되었으며, 강봉웹브형에서는 인장축의 선행파괴로 결정되었다. 무차원화 내력은 동일 폭비에서 강관웹브형이 높게 나타났으며, 폭비 증가에 따른 내력증가현상도 강관웹브형에서 뚜렷하게 나타나고, 강봉웹브형은 일정한 경향이 나타나지 않은 반면에 인장과 압축폭비로 나누어 살펴보면 인장폭비 증가에 따라서는 선형적인 증가현상이 나타남을 알았다. 파괴모드는 강관웹브형의 경우에는 압축지관의 미소 국부좌굴과 인장웹브와 주관 접합면의 소성파괴가 나타났고, 강봉웹브형의 경우는 주관플랜지면 소성변형 후 연결플레이트 용접부위의 파단이 나타났다. 따라서, 강봉웹브형에서 연결 플레이트를 갖는 겹K형 접합부의 경우에는 강관웹브형에 비해 주관의 폭두께비를 낮게 할 필요가 있으며, 폭비도 인장지관과 압축지관과의 관계를 고려하여 결정하여야 할 것으로 판단된다.

**ABSTRACT**: The object of this paper is to determine appropriateness for use of high-strength tensile bar as a tension web member. The gap K-joint of tensile bar types were compared with gap K-joint of square hollow section (SHS) types. For the same width-to-thickness ratio ( $\beta = 33.3$ ), tests were performed on four specimens of the SHS type and eight specimens of the tensile bar type. The comparison of capacity with the experimental results showed a capacity of the SHS type joint to be higher than that of the tensile bar type joint for the same brace-to-chord width ratio. Moreover, the capacity of the SHS type joints increased proportionally to the width ratio ( $\beta$ ), while tensile bar type joints increased as the tension width ratio ( $\beta_2$ ). In failure mode, SHS-type specimens showed local buckling of the compression brace and plastic failure was observed between the tension brace and chord face, and with the tensile bar type specimens there appeared punching shear failure of the chord face at the toe of the connection plate. It is, therefore, concluded that width-to-thickness ratio should be lower than that of the hollow-section type and the relation between tension and compression width ratio should be considered.

**핵심용어**: 강관웹브, 강봉웹브, 연결플레이트, 겹 K형 접합부

**KEYWORDS**: web member of SHS, web member of tensile bar, connection plate, gap K-joints

### 1. 서론

강관과 같은 폐단면은 압축과 비틀림 성능에 있어서 개단면인 H형강에 비해 구조적 효율이 일반적으로 높다. 이로 인

해 강관을 트러스에 사용하는 경우 상대적으로 더 큰 비지지 길이가 가능하고 횡구속에 대한 요구를 감소시키며, 거셋플레이트나 스티프너 등의 사용을 최소화할 수 있어 경제적인 설계가 가능하다. 이러한 이점으로 인해 북미, 유럽 등지에

1) 정희원, (주)한진중공업 건설기술연구소, 선임연구원  
(Tel: 02-450-8218, Fax: 02-450-8118, email: smjeong@hanjinsc.com)  
2) 정희원, 한국건설기술연구원, 수석연구원, 공학박사(email:kwbae@kict.re.kr)  
3) 정희원, 한양대학교 건축공학부, 교수, 공학박사(email:bluemoon@hanyang.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2006년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

서는 강관단면이 아트리움, 공항청사, 경기장, 컨벤션센터 등에 널리 쓰이고 있다. 국내에서도 인천국제공항청사, 고속철도역사 등에 강관부재가 사용되고 있으며, 주로 각형강관에 비해 가공비 등을 제외한 공장 생산비가 비교적 저렴한 원형강관이 주로 적용되고 있다.

그동안 강관 접합부에 대한 연구는 국제적으로 많이 수행되어 왔으며, 특히 각형강관 접합부에 대한 연구는 CIDECT (Comite International pour le Developpement et l'Étude de la Construction Tubulaire)의 지원하에 유럽국가들을 중심으로 이루어졌으며, 미국, 캐나다 등에서도 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 연구는 주관 및 지관이 정방형 또는 장방형 각형강관을 대상으로 한 것으로 인장웹브재에 고장력 강봉 등의 사용을 위한 연결플레이트를 가지는 접합형태에 대한 연구는 거의 수행되지 않은 것으로 조사되었다.

본 연구는 국내에서 생산, 적용된 바 있는 고장력 강봉을 트러스의 순수 인장만을 부담하는 인장웹브재에 도입하여 시공시 또는 사용시 트러스 처짐을 조절하는데 사용하고, 트러스의 경량화 및 강재 절감의 효과가 있는 접합부 개발의 일환이다. 본 논문에서는 인장웹브재의 형태에 따른 겹 K형 접합부의 거동에 대해 비교·고찰하는 것으로, 고장력 강봉 사용에 따른 연결플레이트를 가지는 겹 K형 접합부에 대해서 실험연구를 수행하고, 기존의 각형강관 겹 K형 접합부에 대한 실험결과(김홍준, 1999)와 비교함으로써 인장웹브재에 고장력 강봉의 사용에 대한 적정성을 보고한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체

실험체의 계획은 기본적인 트러스 형태인 와렌트러스에 적용하는 것을 대상으로 K형 접합부에 대한 것으로 하였으며, 제작이 용이하고 일반적으로 사용되는 겹타입으로 하였다.

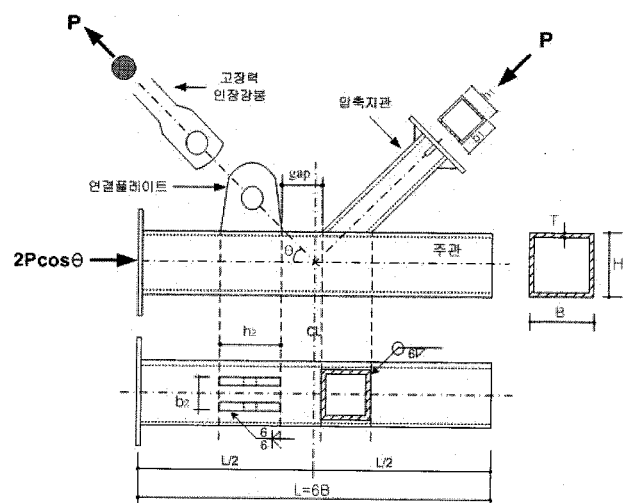
겹 K형 접합부의 웹브재 형태의 변화에 따른 거동의 차이를 알아보기 위해 인장웹브재의 형태가 정방형각형강관과 고장력 인장강봉으로 서로 다른 두 실험에서 주관의 폭두께비( $2\gamma$ )가 33.3으로 동일한 것을 대상으로 하였으며, 실험체 형상을 그림 1에 나타내었다. 기존 실험연구는 주관과 지관이 모두 정방형 각형강관(이하, 강관웹브형)으로 폭비( $\beta$ )는 0.4~0.83의 범위를 가지는 4개의 실험체이며, 본 연구에서는 인장웹브재에 고장력 강봉을 사용하고 주관과의 연결에 플레이트를 사용(이하, 강봉웹브형)하는 것으로 폭비 0.63~0.87의 범위를 가지는 8개의 실험체로 표 1에 정리하여 나타내었다. 폭

비의 산정은 CIDECT(1986)에서 제시하고 있는 폭비 산정식  $(b_1+h_1+b_2+h_2)/4B$ 를 이용하였다.

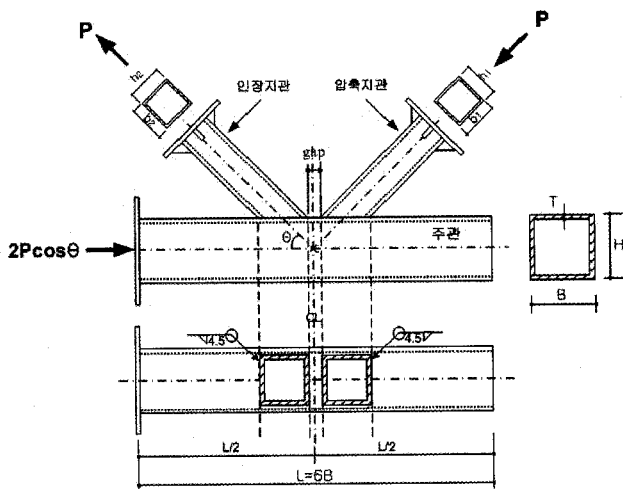
두 실험 모두 웹브재와 주관의 각도는  $45^\circ$ 이며, 각형강관의 주관과 압축지관은 모살용접하고, 연결플레이트와 주관은 부분용입 용접하였다. 강봉웹브형 실험체의 인장 연결플레이트는 춤은 220mm로 일정하게 계획하였고, 압축 및 인장 웹브재의 형상이 상이함으로 인해 나타나는 각 웹브재별 영향을 알아보기 위해 주관폭에 대한 압축 및 인장 웹브재의 폭비도 함께 나타내었다. 여기서, 인장폭비는 주관폭 B에 대한 연결플레이트 사이의 폭  $b_2$ 의 비로 나타낸 것이다.

표 1. 겹 K형 접합부 실험체 일람

Specimen	Chord		Tension brace		Compression brace		$\beta$	g/B	
	size	$2\gamma$	$b_2$	$\beta_2$	size	$\beta_1$			
강봉 웹브 형	KSA100-a	200× 200× 6.0	33.3	84	0.42	100 <sup>2</sup> ×6.0	0.50	0.63	0.75
	KSA150-a					150 <sup>2</sup> ×6.0	0.75	0.76	0.57
	KSA100-b			124	0.62	100 <sup>2</sup> ×6.0	0.50	0.68	0.75
	KSA125-b					125 <sup>2</sup> ×6.0	0.63	0.74	0.66
	KSA150-b					150 <sup>2</sup> ×6.0	0.75	0.81	0.57
	KSA175-b			164	0.82	175 <sup>2</sup> ×6.0	0.88	0.87	0.48
	KSA125-c					125 <sup>2</sup> ×6.0	0.63	0.79	0.57
	KSA150-c					150 <sup>2</sup> ×6.0	0.75	0.86	0.48
강관 웹브 형	KSD-1	150× 150× 4.5	33.3	60×60×4.5		0.40	0.43		
	KSD-2			75×75×4.5		0.50	0.29		
	KSD-3			100×100×6.0		0.67	0.06		
	KSD-4			125×125×6.0		0.83	-0.18		



(a) 강봉웹브형의 겹 K형 접합부



(b) 강관웹재형의 겹K형 접합부  
그림 1. 겹 K형 접합부 실험체의 형상

실험체 모두 주관의 길이는 주관폭의 6배로 계획하였는데 이것은 지지길이가 너무 짧으면 단부의 구속효과가 접합부의 거동에 영향을 줄 수 있으며 반대로 너무 길면 주관의 휨변형으로 파괴되는 것을 방지하기 위한 것이다. 압축지관의 길이도 지관 자체에서의 국부좌굴이 발생하지 않도록 하며 주관 접합면의 파괴를 유도하고 실험시 실험체 세팅을 원활히 하기 위해서 지관 뒷굽에서부터 단부 플레이트까지 지관폭의 3~4배로 계획하였다.

## 2.2 가력 및 측정방법

### 2.2.1 실험체 설치

두가지 타입의 실험체 모두 그림 2와 같이 실험체를 가력 프레임내의 반력용 블럭과 액추에이터 사이에 위치시키고 전동공구를 사용하여 고력볼트로 체결한다. 이때 다림추를 이용하여 실험체의 수직을 확인하였으며, 강봉웹재형의 실험체는 인장력이 도입되는 고장력 강봉의 실험체 주관 상부면 연결용 플레이트와 액추에이터를 원형단면으로 열처리 가공된 고강도의 핀을 이용하여 연결한다. 주관 및 지관의 단부는 핀접합 상태가 되도록 하였으며, 실험체에 초기응력이 도입되는 것을 방지하기 위해서 각 지관과 반력블럭 사이의 틈은 다양한 두께의 깔판을 이용하여 최대한 밀착시킨다.

### 2.2.2 가력 및 측정방법

그림 3과 같이 액추에이터로 인장웹재인 고장력 강봉에 인장력을 작용시키면 압축지관에는  $P$ , 주관에는  $\sqrt{2}P$  크기의 압축력이 반력으로 도입되도록 가력장치를 계획한다. 즉, 지관이 접합되는 주관면에는 크기가 다른 인장력과 압축력이

동시에 작용한다. 가력은 접합부의 최대내력이 결정되고 실험체가 심한 국부변형으로 더 이상 가력하기에 불안정한 상태가 되었을 때 종료하였다.

하중은 액추에이터에 부착한 유압센서(Pressure Transducer)를 이용하여 측정하고 변위는 LVDT를 이용하여 측정한다. 주관에 대한 압축지관과 인장 웹재 연결플레이트의 상대적 변위를 측정하기 위해서 지관에 부착한 LVDT를 주관과 지관의 중심선이 만나는 위치에 용접해 놓은 볼트에 강선으로 연결하고, 지관 양측면에 LVDT를 1개씩 총 4개를 설치하였다.

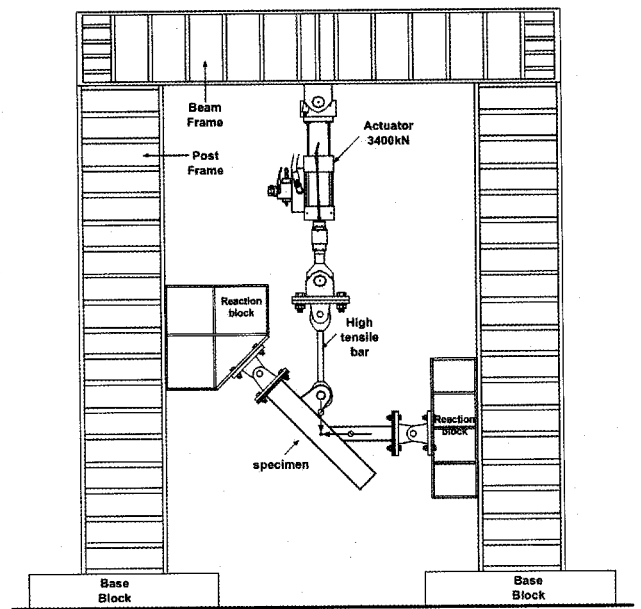


그림 2. 실험체 설치 상황



그림 3. 실험체 가력 및 변위계 부착상황

### 2.3 소재시험

실험체 제작에 사용한 재료는 냉간성형 SPSR400으로 인장강도 시험은 KS B 0801의 방법에 의해 용접부를 제외한 3면의 중앙부에서 시험편을 채취하여, KS B 0802 금속재료 인장시험방법으로 수행하였다. 강재 인장강도 시험 결과, 0.2%윽셋 내력으로 산정된 강관의 항복강도는 강봉웹브형의 경우 370~384 MPa, 강관웹브형의 경우 351~388 MPa로 사용재료인 SPSR400의 공칭항복응력도 245MPa보다 높게 나타났으며, 인장강도도 모두 400MPa를 상회하는 것으로 나타났다.

또한 재료의 항복비는 0.81~0.86으로 일반적인 항복비 0.7내외보다 높게 나타나고 있는데, 이는 냉간소성가공에 의한 잔류응력에 기인한 것으로 판단된다.

표 2. 강재 인장강도 시험결과

Size		F <sub>y</sub> (MPa)	F <sub>u</sub> (MPa)	F <sub>y</sub> /F <sub>u</sub>	Elo. (%)
강봉 웹브형	200×200×6.0	370	431	0.86	26
	100×100×6.0	358	420	0.85	24
	125×125×6.0	367	432	0.85	25
	150×150×6.0	384	457	0.84	26
	175×175×6.0	378	451	0.84	23
강관 웹브형	150×150×4.5	383	455	0.84	16
	60×60×4.5	381	448	0.85	19
	75×75×4.5	388	452	0.86	22
	100×100×6.0	351	414	0.85	25
125×125×6.0	364	448	0.81	24	

### 3. 실험결과

#### 3.1 하중-폭비 (P-β) 관계

표 3에 두가지 타입의 겹 K형 접합부의 실험결과에 대해 정리하였다. 항복하중은 초기강성의 1/3 기울기를 가지는 직선을 평행이동시켜 실험곡선과 접하게 하고, 초기강성의 직선과 만나는 점으로 정하였다.

그림 4(a)에서 보는 바와 같이 강관웹브형의 겹K형 접합부에서는 폭비의 증가에 따라, 즉 지관의 크기가 커짐에 따라 항복하중과 최대하중이 증가하는 양상을 나타냄을 알 수 있었으며, 항복하중이후에 곧바로 최대하중에 도달하였다. 반면에 그림 4(b)의 강봉웹브형의 겹K형 접합부에서는 폭비 증가에 따른 내력의 증가가 일정한 양상을 나타내지 않았다. 이러한 경향은 강봉웹브형의 경우 CIDECT식으로 정한 전

체폭비와 내력과의 관계를 따르지 않는 것으로 볼 수 있으며, 그림 5와 같이 압축지관의 크기가 동일한 경우에 대해서 인장폭비와 하중과의 관계는 인장폭비 증가에 따라 내력이 증가하는 경향을 나타내었다.

이를 압축폭비와 인장폭비와의 관계로 살펴보면, KSA 계열 실험체에서 압축폭비가 인장폭비보다 큰 경우( $\beta_1 > \beta_2$ )는 폭비가 증가함에도 불구하고 그림 4(b)와 같이 내력이 하락하였다. 따라서 인장지관에 연결용 플레이트를 사용하는 경우에는 주관의 폭두께비에 따라 하중-전체 폭비관계가 일정하게 나타나지 않는 경우도 있으며, 이러한 경우에는 앞서 살펴본 바와 같이 인장폭비를 기준으로 하여야 하고, 인장폭비를 압축폭비보다 크게 계획하여야 할 것으로 판단된다.

표 3. 겹 K형 접합부의 실험결과

Specimen	P <sub>y</sub> (kN)	P <sub>u</sub> (kN)	P <sub>y</sub> / P <sub>u</sub>	K <sub>i</sub> (kN/ mm)	δ <sub>y</sub> (mm)	δ <sub>u</sub> (mm)	DR	
강봉 웹브형	KSA100-a	275	283	0.97	132	3.08	3.27	1.06
	KSA150-a	276	309	0.89	144	6.13	7.79	1.27
	KSA100-b	347	387	0.90	394	5.82	9.16	1.57
	KSA125-b	326	360	0.91	313	4.86	8.21	1.69
	KSA150-b	367	396	0.93	299	4.55	6.25	1.37
	KSA175-b	343	375	0.91	198	5.55	7.32	1.32
	KSA125-c	473	494	0.96	328	3.46	6.97	2.01
	KSA150-c	534	538	0.99	485	-1.67	-2.00	1.20
강관 웹브형	KSD-1	130	138	0.94	33	3.96	20.0	5.05
	KSD-2	223	230	0.97	40	5.50	8.10	1.47
	KSD-3	308	374	0.82	119	2.60	4.00	1.54
	KSD-4	506	506	1.00	169	3.00	3.00	1.00

P<sub>y</sub> : 인장축 실험항복하중      P<sub>u</sub> : 인장축 실험최대하중

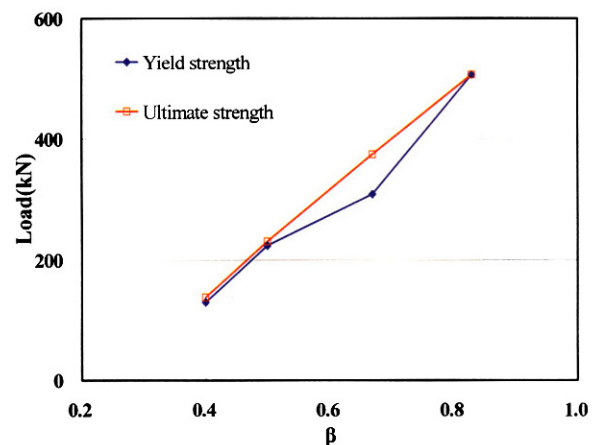
P<sub>y</sub>/P<sub>u</sub> : 실험최대하중에 대한 실험항복하중비

K<sub>i</sub> : K형 접합부 실험체의 초기강성

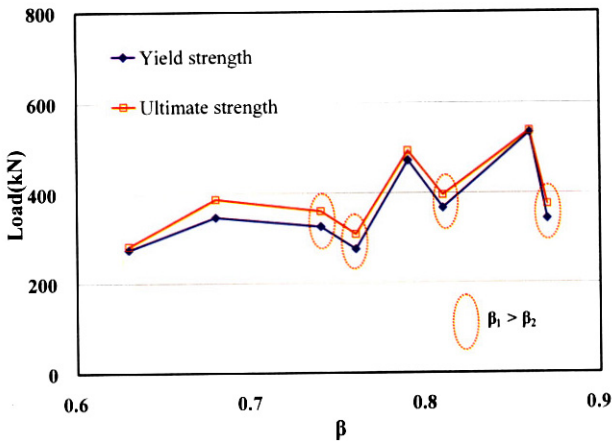
δ<sub>y</sub> : 항복하중시의 변위

δ<sub>u</sub> : 최대하중시의 변위

D(δ<sub>u</sub>/δ<sub>y</sub>) : 항복하중시의 변위에 대한 최대하중시의 변위비



(a) 강관웹브형의 겹K형 접합부



(b) 강봉웹브형의 갭K형 접합부  
 그림 4. 항복 및 최대하중과 폭비의 관계

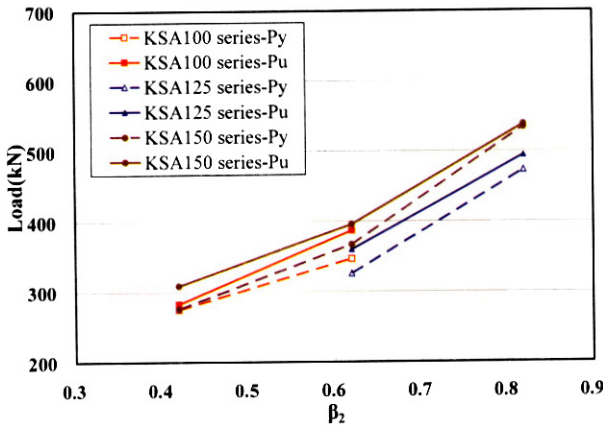


그림 5. 강봉웹브형의 갭K형 접합부 하중-인장폭비 관계

### 3.2 파괴모드

갭K형 접합부에서는 갭의 크기에 따라서 그 파괴모드는 다양하게 나타난다. 폭비  $\beta < 0.7$ 로 지관사이의 갭이 클 경우에는 접합부가 독립적인 T형 또는 Y형 접합부와 유사하게 거동하거나 또는 주관면의 변형과 동시에 인장지관 부재의 끝단에서의 균열발생으로 인하여 파괴되며, 폭비  $\beta > 0.7$ 로 갭이 작을 경우는 주관이 전단에 의해 파괴된다. 파괴모드 중에서 가장 일반적인 파괴모드는 폭비가 작거나 중간정도일 때 주관면의 소성화에 의해 발생하는 밀고 당기는 기구 (Push-Pull Mechanism)이며, 모든 갭 K형 접합부의 설계규준에 적용되는 파괴모드이다. 이러한 다양한 파괴모드가 발생하는 이유는 인장지관에 축력이 재하될 때, 반력으로서 도입되는 주관 축방향의 압축력과 절점 편심으로 인한 모멘트가 동시에 작용하여 지관이 접합되어 있는 주관면에는 여러 방향의 복잡한 힘이 작용하기 때문이다. 따라서, K형 접

합부의 파괴모드는 어느 하나의 힘으로 주도되는 단독 파괴 모드보다는 여러 가지 파괴모드의 조합된 복합형태로 나타난다.

일반적으로 나타내는 대표적인 파괴모드의 유형은 다음과 같으며, 본 연구에서도 이를 이용하여 파괴모드를 나타내었다.

- ① 모드 A (주관면의 소성파괴)  
 : 가장 일반적인 형태로 갭접합부이면서 폭비  $\beta$ 값이 중간(0.6~0.8)보다 작을 때에 발생한다.
- ② 모드 B (인장웹브재에 의한 주관의 찢어짐 : 편칭전단)  
 : 폭비  $\beta$ 값이 중간(0.6~0.8) 정도일 때 발생한다.
- ③ 모드 C (용접부의 파괴 또는 인장지관 자체의 파괴)  
 : 폭비  $\beta$ 값이 중간(0.6~0.8) 정도이고 상대적으로 두께가 얇은 지관인 접합부에서 발생한다.
- ④ 모드 D (압축지관의 국부좌굴 : 유효폭 파괴)  
 : 오버랩접합부의 가장 일반적인 파괴모드이다.
- ⑤ 모드 E (주관의 전체 전단파괴)  
 : 폭비  $\beta$ 값이 1.0에 가까운 갭접합부 또는 주관 폭에 대한 축의 비가 적은 주관에서 발생한다.
- ⑥ 모드 F (인장지관 뒷굽 주위에서 주관면의 국부좌굴)  
 : 주관의 세장비나 폭두께비가 클 때 발생한다.

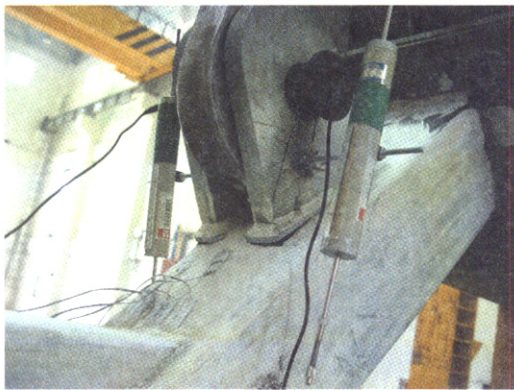
표 5는 본 연구에서 수행한 갭 K형 접합부 실험체에 대해 실험시와 가력 종료 후에 파손과 변형의 정도를 육안으로 면밀히 관찰하여 분류항목별로 정리하고, 발생한 파괴모드를 수록한 것이다. 강봉웹브형 갭K형 접합부의 경우에는 인장축 주관플랜지면의 소성변형이 선행하여 나타난 후 KSA125-c, KSA150-c 실험체를 제외한 나머지 실험체는 최종적으로 편칭전단에 의해 파괴되었다. 연결플레이트 사이의 간격이 큰 KSA-c 계열의 실험체는 연결플레이트에 작용한 하중에 대해서 주관플랜지면과 웹면이 함께 저항하여 편칭전단 없이 주관플랜지면의 과도한 소성변형으로 실험이 종료된 것으로 판단된다. 강관웹브형 갭K형 접합부의 경우에는 압축지관의 미소변형이 나타나고, 폭비가 중간이하인 KSD-1, 2 실험체는 주관과 지관 접합면의 소성파괴가 나타났고, 폭비가 0.67, 0.83인 KSD-3, 4 실험체는 압축지관의 국부좌굴과 인장지관 뒷굽 주위의 주관면 국부좌굴이 발생하였다.

표 5. 갭K형 접합부의 파괴모드

실험체명	손상 및 변형 항목						파괴모드 발생상황
	a	b	c	d	e	f	
KSA100-a	○	○	○	○		○	A, B
KSA150-a	○	○	○	○		○	A, B
KSA100-b	○	○	○	○		○	A, B
KSA125-b	○	○	○	○		○	A, B
KSA150-b	○	○	○	○		○	A, B
KSA175-b	○	○	○	○		○	A, B
KSA125-c	○	○	○	○			A
KSA150-c	○	○	○	○			A
KSD-1	○			○	○		A
KSD-2	○				○	○	A
KSD-3		○			○		D, F
KSD-4		○			○		D, F

주) 손상 및 변형 항목

- a : 주관 접합면의 요철무늬 변형
- b : 주관 접합면의 미소 변형
- c : 주관 측벽면의 좌굴 변형
- d : 주관 압축측 상부 플랜지면의 변형
- e : 압축지관 미소 국부 변형
- f : 인장 지관플레이트측 용접 부근 주관의 찢어짐 및 분리현상



(a) 인장웨브재의 편칭전단 파괴



(b) 압축지관의 국부좌굴

그림 6. 갭K형 접합부 파괴형태

## 4. 분석 및 고찰

### 4.1 내력 비교

#### 4.1.1 무차원 최대하중과 폭비 관계

주관의 크기가 다르고 인장웨브재의 형태가 다른 갭 K형 접합부에 대한 내력을 비교하기 위하여 Wardenier의 실험식을 이용하여 하중-폭비 관계로 무차원화하여 비교하였다. 접합부 거동에 영향을 미치는 모든 주요 변수의 효과를 체계적으로 실험한 폭넓은 연구를 통하여 접합부의 극한강도는 식(1)과 같은 실험식의 일반적인 형태로 나타낼 수 있다 (CIDECT, 1986).

$$N_u = F_y \cdot f(T) \cdot f(B) \cdot f\left(\frac{b_i}{B}\right) \cdot f\left(\frac{H}{B}\right) \cdot f(\Theta_{1,2}) \cdot f(g) \cdot f(\mu) \quad (1)$$

여기서,  $f(\ )$ 는 실험함수를 가리키며,

- $F_y$  : 항복강도,  $T$  : 주관두께,  $B$  : 주관폭,
- $b_i/B$  : 지관/주관 폭비,  $H/B$  : 주관 폭에 대한 춤의 비,
- $\Theta_{1,2}$  : 지관각도,  $g$  : 갭크기,
- $\mu$  : 주관 도입축력에 의한 접합부 강도저감계수이다.

식(1)의 각종 변수에 대한 영향을 조사한 결과, 식(2)로 압축할 수 있다. 즉, 갭K형 접합부의 내력은 주관의 항복강도, 주관두께, 주관의 폭두께비와 주관에 대한 지관의 폭비에 관련이 있다.

$$N_u = f(F_y \cdot T^2 \cdot \left[\frac{B}{T}\right]^x \cdot \beta) \quad (2)$$

본 논문에서는 주관의 폭두께비가 33.3으로 일정하므로 최대하중 폭비  $\left[\frac{P_u}{T^2 \cdot F_y} - \beta\right]$ 의 관계로 무차원화하여 나타내면 그림 7과 같다.

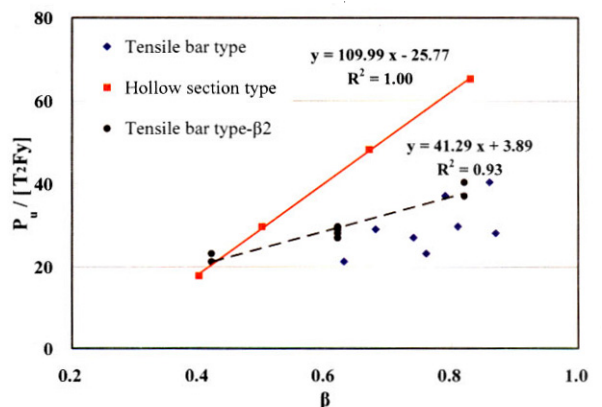


그림 7. 최대하중과 폭비의 무차원 관계

무차원 최대상노는 폭비에 상관없이 강관웹브형 접합부가 강봉웹브형 접합부 보다 높게 나타났다. 또한 그림에서 보이듯이 강관웹브형의 경우는 폭비 증가에 따른 무차원 최대하중이 비례적으로 증가하는 경향을 나타내었으나, 강봉웹브형의 경우는 폭비 증가에 따른 내력의 증가가 일정한 경향을 나타내지 않고 분포하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 강봉웹브형을 인장폭비에 대해 나타내었을 경우, 강관웹브형과 유사하게 폭비 증가에 따라 내력 증가가 비례적으로 나타났으며 증가 추세선의 기울기는 강관웹브형의 접합부에 비해 작게 나타났다.

이것으로부터 동일 폭두께비, 폭비에서 강관웹브형이 강봉웹브형 보다 높은 내력을 나타내며, 폭비 증가에 따른 무차원 내력의 증가가 강봉웹브형 보다는 강관웹브형의 접합부에서 크게 나타났다. 따라서 강봉웹브형의 겹K형 접합부에 대한 내력식은 기존 각형강관을 웹재로 사용하는 겹 K형 접합부에 내력식과는 별도로 제시하여야 할 것으로 판단된다.

#### 4.1.2 무차원 최대하중과 겹크기비 관계

그림 8과 같이 일반적인 강관웹브형의 겹K형 접합부에서는 겹크기비가 감소함에 따라 내력이 증가하는 기존의 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 강봉웹브형의 접합부에서는 겹크기비의 감소에 따라 내력이 증가하기는 하지만 강관웹브형에 비해 그 증가 기울기가 작으며, 또한 동일 겹크기비에 대한 내력에도 편차가 있다. 이는 주관폭에 대한 웹재(지판) 사이의 거리에 대한 비인 겹크기비가 동일하더라도 연결플레이트 사이의 간격이 다름에 따라 내력에 차이가 발생하기 때문으로 판단된다. 즉, 강봉웹브형의 겹 K형 접합부에서 겹크기비가 동일한 접합부일지라도 인장폭비가 다른 경우에는 내력의 차이가 크게 생길 수 있다는 것을 의미한다. 이를 통해 연결 플레이트 사이의 간격이 접합부 내력을 결정하는 주요변수임을 알 수 있다.

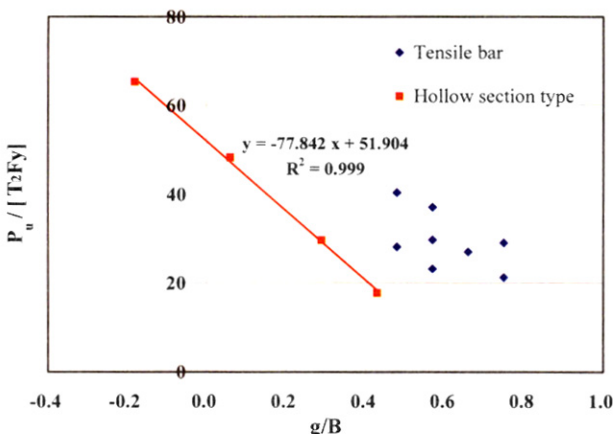
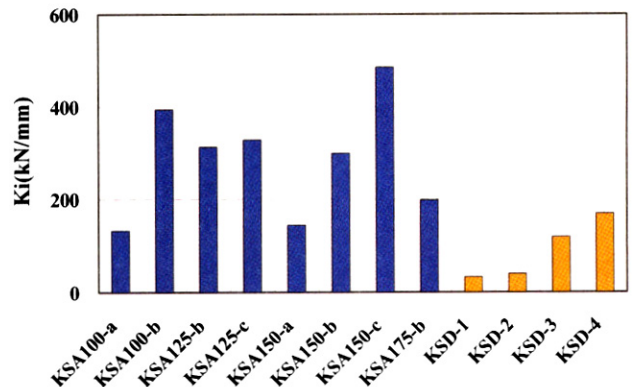


그림 8. 최대하중과 겹크기비의 무차원 관계

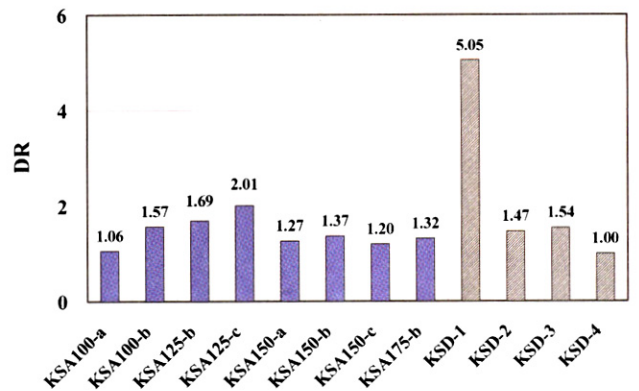
#### 4.2 초기강성 및 연성율 비교

그림 9에 강봉웹브형 및 강관웹브형 겹K형 접합부의 초기강성과 연성율을 비교하여 나타내었다. 강관웹브형 접합부는 폭비가 0.4에서 0.83으로 증가함에 따라 초기강성은 33kN/mm에서 169kN/mm로 큰 폭으로 증가하고, 항복하중에서 최대하중까지의 연성능력을 나타내는 연성율은 감소하는 경향을 나타내었다. 강봉웹브형 겹K형 접합부의 경우에는 앞서의 무차원 하중-폭비 관계에서와 마찬가지로 초기강성과 연성율에 있어서 일정한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 동일 압축지판 크기의 실험체에서 인장폭비가 증가함에 따라 비교하였을 경우, 초기강성은 5~198% 증가하는 것으로 나타나고, 연성율은 -12~48% 범위의 증감이 있는 것으로 나타났다.

전체적으로 초기강성은 강봉웹브형 겹K형 접합부가 강관웹브형 겹K형 접합부에 비해서 높게 나타났고, 연성율은 KSD-1 실험체를 제외하고 두 타입의 접합부 모두 2 이하의 값을 나타내었다.



(a) 초기강성



(b) 연성율

그림 9. 강봉웹브형 및 강관웹브형의 초기강성 및 연성율 비교

## 5. 결론

이상과 같이 인장웹브게에 고장력 강봉을 사용하고 주관과의 연결에 플레이트를 직접 용접하는 강봉웹브형의 갭K형 접합부와 주관과 지관이 모두 정방향 각형강관인 기존 연구의 강관웹브형 갭K형 접합부의 거동에 대해서 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강관웹브형의 갭K형 접합부에서는 폭비의 증가에 따라 항복하중과 최대하중이 증가하며, 강봉웹브형의 갭K형 접합부에서는 폭비 증가에 따른 내력의 변화가 일정한 경향을 나타내지 않았다.
- (2) 주관폭에 비해 주관두께가 작은 폭두께비가 33.3인 플레이트 타입의 갭K형 접합부의 경우, 인장폭비가 압축폭비보다 크게 설계되어야 하고, 인장폭비를 기준으로 접합부의 내력을 평가하여야 할 것으로 판단된다.
- (3) 파괴모드에 있어서는 강봉웹브형의 경우 연결플레이트와 주관플랜지 접합면에서 소성파괴가 주로 발생하며, 인장폭비가 큰 KSA-c계열 실험체를 제외하고 최종적으로 편칭전단에 의한 파괴가 발생하고 강관웹브형의 경우는 폭비 0.67 미만에서는 주관플랜지면의 소성변형에 의한 파괴모드가 나타나고, 0.67 이상에서는 압축지관의 국부좌굴과 인장지관 뒷굽주위의 주관면 국부좌굴이 발생하여 지관형상에 따라 접합부의 최종적인 파괴모드는 다르게 나타났다.
- (4) 무차원 최대하중과 폭비관계로 두 형태의 접합부를 비교하면, 동일 폭두께비, 폭비에서 강관웹브형이 강봉웹브형보다 높은 내력을 나타내며, 폭비 증가에 따른 무차원 내력의 증가 기울기도 강관웹브형 접합부에서 크게 나타났다. 따라서 강봉웹브형의 갭K형 접합부에 대한 내력식은 기존 강관웹브형의 내력식과는 별도로 제시하여야 할 것으로 판단된다.
- (5) 강봉웹브형의 갭K형 접합부는 갭크기비가 동일하더라도 연결플레이트 사이 간격이 다름에 따라 접합부 내력의 차이가 나타나고, 초기강성과 연성율에 있어서도 동일한 경향을 나타낸다. 따라서 연결플레이트의 간격이 접합부 내력을 결정하는 주요변수라고 판단된다.

## 참고 문헌

- 대한건축학회, 강관구조설계기준 및 해설(1998)
- 대한건축학회, 냉간성형강 구조설계기준 및 해설(1999)
- 김홍준, 박금성, 배규웅, 문태섭(1999) 각형강관 트러스의 K형 접합부에 관한 연구(I), 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제8권, 제4호.
- 정상민, 박금성, 배규웅, 문태섭(2004) 중방향 지관플레이트 각형강관 T형 접합부의 구조적 거동, 대한건축학회논문집 구조계, 제20권 12호, p.p. 53~60
- CIDECT(1986) *The Strength and Behavior of Statically Loaded Welded Connections in Hollow Sections : Monograph No. 6*, England
- Packer, J.A., Henderson, J.E.(1992) *Design Guide for Hollow Structural Section Connections*, Canadian Institute of Steel Construction
- Wardenier, J.(2001) *Hollow Sections in Structural Applications*, CIDECT
- Packer, J.A., Davies, G., Coutie, M.G.(1982) Ultimate Strength of Gapped Joints in Trusses, ASCE, Vol. 108, No. ST2
- Wardenier, J.(1982) *Hollow Section Joints*, Delft University Press
- Packer, J.A., Wardenier, J., Kurobane, Y., Dutta, D.(1992) Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading, Koln, Verlag TUV Rheinland
- Dexter, E.M., Lee, M.M.K.(1999) Static Strength of Axially Loaded Tubular K-Joints. I : Behavior, Journal of Structural Engineering, pp. 194~201
- T.Bjork, G. Marquism, R. Kemppainen, R. Ilvonen (2003) The capacity of cold-formed rectangular hollow section K-gap joints, Tubular structures X, pp. 227~234
- (접수일자 : 2005. 7. 13 / 심사일 2005. 7. 18 / 심사완료일 2005. 9. 23)