

# 비보강받침접합의 용접강도와 설계도표

## The Weld Strength and Design Tables for the Unstiffened Seated Connections

최 선 규<sup>1)</sup> · 유 정 한<sup>2)</sup> · 이 강 민<sup>3)</sup> · 박 재 우<sup>4)</sup>  
*Choi, Sun Kyu · Yoo, Jung Han · Lee, Kang Min · Park, Jai Woo*

**요약** : 비보강받침접합(Unstiffened Seated Connection, USC)은 시공의 편의성과 설치시의 안정성 및 경제성이 있는 단순접합의 한 종류이다. 비보강받침접합은 하부 $\gamma$ 형강과 상부 $\gamma$ 형강으로 구성되며 하부 $\gamma$ 형강은 보의 단부반력전체를 지지하며, 상부 $\gamma$ 형강은 보의 안정을 위하여 설치한다. 상부와 하부 $\gamma$ 형강은 볼트 또는 용접에 의해 보와 지지부재에 접합된다. 본 연구에서는 비보강받침접합의 용접강도에 대한 실용적인 설계절차와 함께 용접부의 편심계산시 탄성벡터법(EVM)과 순간회전중심법(ICM)으로 소요지압길이에 근거한 설계도표를 제안하였다. 또한 제안한 설계방법에 의한 용접강도를 AISC와 KBC기준에 따라 비교하였다.

**ABSTRACT** : Unstiffened seated connections (USC) ensure easy installation and safety during erection, thereby making the process more economical. USC consists of a seat angle for carrying the beam's reactions and a top angle to provide beam stability. These angles are bolted or welded to the beam and supporting member. This paper sought to propose a design table for the weld strength of such connections obtained from the elastic vector method (EVM) and the instantaneous center-of-rotation method (ICM) in terms of calculating the eccentricity. Also, the proposed design table is compared with both AISC and KBC specifications.

**핵심용어** : 비보강받침접합, 용접강도, 탄성벡터법, 순간회전중심법, 설계도표

**KEYWORDS** : unstiffened seated connections, welding strength, elastic vector method, instaneous center of rotation method, design table

### 1. 서론

비보강받침접합(Unstiffened Seated Connection)은 시공이 간편하고 설치시 낙하사고를 방지하는 등 안정성이 있으며, 경제적인 시공을 할 수 있는 단순접합방법의 일종으로 해외에서는 널리 사용되고 있으며, 국내에서도 다양한 연구가 수행되고 있다(양재근 등, 2010). 비보강받침접합은 보-기둥 접합부에서 하부 받침용 $\gamma$ 형강과 상부 $\gamma$ 형강을 사용하여 기둥의 플랜지와 보의 플랜지에 각각 용접과 볼트를 사용하여 접합하게 된다(그림 1 참조). 받침용 $\gamma$ 형강은 보의 단부반력 전체를 지지하며, 상부 $\gamma$ 형강은 보의 안정을 위하여 설치하게 된다.

비보강받침접합은 그림 1과 같이 일반강재인 부등형 $\gamma$ 형강을 사용하여 짧은 쪽 내민다리(Outstandning Leg, OSL)

의 사이즈 90 또는 100mm를 받침으로 사용하고, 사이즈 100~200mm의 수직다리(Long, Leg Vertical, LLV)는 지지부재에 모살용접한다.

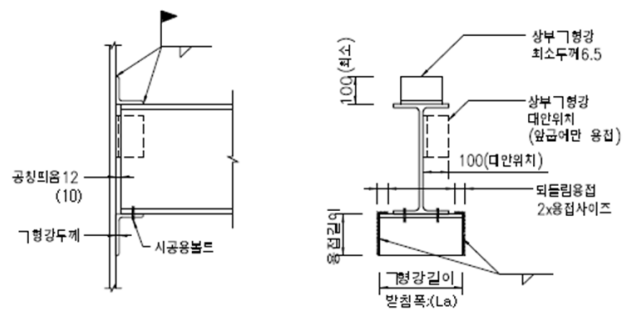


그림 1. 비보강받침 용접접합부의 상세도

1) 선영구조기술사건축사사무소 대표, 공학박사(cskcoa@hanmail.net)  
2) 서울과학기술대학교 건축학부 조교수, 공학박사(happyjh@seoultech.ac.kr)  
3) 충남대학교 건축학부 부교수, 공학박사(leekm@cnu.ac.kr)  
4) 교신저자, 가운건설(주) 건축부 부장, 공학박사  
(Tel: 02-3409-3396, Fax: 02-499-0638, E-mail: anm21c@hanmail.net)

본 논문에 대한 토의를 2012년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

비보강받침접합의 용접설계강도는 보의 반력에 의한 지압길이 및 편심을 고려한 내민다리(OSL)의 내력과 지지부재에 접합되는 수직다리(LLV)의 용접강도로부터 산정한다. 이 때 편심은 접합하는 보의 웨브국부항복과 웨브크리플링 강도를 위해 필요한 소요지압길이와 설치에 필요한 공간 및 제작시의 오차를 고려한 띄움길이(setback)를 근거로 산정한다. 받침용 ㄱ형강 내민다리(OSL)의 설계강도는 한계상태의 전단항복과 휨항복을 고려하며, 수직다리(LLV) 용접부의 설계강도는 용접되는 평면내의 편심을 고려하여 계산한다. 이와 같은 복잡한 설계절차를 간편화하기 위하여 AISC매뉴얼(ASIC 2010)에서는 설계도표를 이용하여 설계강도를 산정한다.

편심전단 하중을 받는 받침용 ㄱ형강 수직다리의 용접강도를 산정하기 위한 계산방법은 AISC매뉴얼의 설계도표에서 사용하고 있는 탄성벡터법(탄성법, EVM)과 AISC에서 허용하고 있는 소성해석방법인 순간회전중심법(소성법, ICM)이 있다(Tamboli, 2010; Salmon, 2009). 탄성법은 계산이 단순한 반면 용접부의 연성과 잠재적인 하중의 재분배를 고려하지 않아 과도하게 보수적으로 설계된다는 단점이 있으며, 소성법은 정확한 계산을 할 수 있으나 반복적인 해석이 필요하다는 단점이 있다.

AISC에서는 편심전단을 받는 접합부의 설계강도 계산시 볼트접합이나 용접접합에 탄성법 또는 소성법이 사용되며, 이중 도표로 설계하는 방법은 소성법이 주로 사용되고 있다. 그러나 AISC의 비보강받침접합의 설계도표는 ㄱ형강의 긴 쪽 수직다리(LLV)에 대한 용접강도 산정시 받침인 내민다리(OSL)길이에서 띄움거리(setback)를 감한 전체길이의 중심에서부터 편심을 계산하는 방식으로 도표화되어 있기 때문에 항상 보수적으로 설계되는 단점이 있다(최선규, 2011).

이 연구에서는 비보강받침접합의 실용적 용접강도 산정을 위하여 띄움거리와 소요지압길이를 근거로 편심을 고려한 용접강도의 설계도표를 제안하였다. 용접강도 산정을 위한 도표는 탄성벡터법(EVM)과 순간회전중심법(ICM)을 이용해 작성하였다. 또한 ㄱ형강의 길이(받침폭)와 소요지압거리별로 내민다리 두께에 따라 산정된 강도와 대등한 용접사이즈 도표를 작성하여 비보강받침접합의 실용적 설계방법을 제시한다. 또한 도표에 의해 산정한 설계강도는 AISC(2010)와 KBC (2009)기준을 적용하여 비교하였다.

## 2. 기본이론 및 설계기준

### 2.1 편심용접접합 : 전단만을 받는 경우

전단하중을 받는 편심용접접합부위 해석방법에는 탄성해석

법과 순간회전중심법이 있으며(AISC, 2010; Salmon, 2009), 이에 대한 이론적 배경은 다음과 같다.

#### 2.1.1 탄성벡터법(탄성법, EVM)

그림 2(a)와 같이 브라켓에 작용하는 하중은 용접면 즉, 목두께의 평면에 작용한다고 할 수 있다. 이러한 용접면에 작용하는 편심하중은 그림 2(b)와 같이 용접부에 직접전단과 비틀림전단을 동시에 받는 것으로 치환할 수 있으며 용접부위에 대한 직접전단응력은 식(1)과 같다.

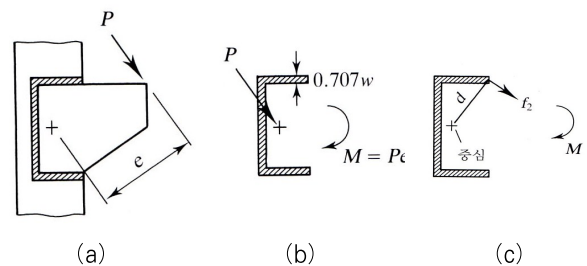


그림 2. 편심을 받는 용접연결부위의 기본 해석개념

$$f_1 = \frac{P}{L} \tag{1}$$

여기서,  $L$ 은 용접길이 이며, 작용하중에 대한  $x, y$ 성분에 대한 직접전단응력은 식(2)와 같다.

$$f_{1x} = \frac{P_x}{L} \quad f_{1y} = \frac{P_y}{L} \tag{2}$$

그림 2(c)의 경우와 같이 우력으로 인한 전단응력은 식(3)을 사용해 구할 수 있다.

$$f_2 = \frac{Md}{J} \tag{3}$$

여기서,  $d$ 는 전단면적의 도심에서 응력이 계산되는 점까지의 거리이며,  $J$ 는 전단면적의 단면극2차모멘트 이다.

비틀림 전단에 대한  $x, y$ 성분은 식(4)와 같다.

$$f_{2x} = \frac{My}{J} \quad f_{2y} = \frac{Mx}{J} \tag{4}$$

식(1)과 (3)의 직접 전단응력과 비틀림 전단응력을 이용하여 전단응력의 합력은 식(5)와 같다.

$$f_v = \sqrt{(\Sigma f_x)^2 + (\Sigma f_y)^2} \quad (5)$$

2.1.2 순간회전중심법(소성법, ICM)

AISC(2010) J2.4b절에 근거한 순간회전중심법(소성법)은 연속용접을 이산선분(discrete segment)의 조합으로 취급하여 그림 3과 같이 순간회전중심(instantaneous center of rotation, IC)으로부터 이산선분의 도심까지의 반지름에 수직으로 작용하는 각 요소의 힘에 의해 저항된다. 극한강도해석은 다음과 같은 과정을 통해 수행된다.

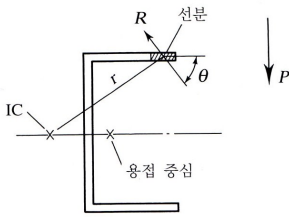


그림 3. 극한강도해석의 기본 해석개념

- ① 임계요소를 결정하기 위해, 먼저 식(6)을 이용해 최대 응력에 있는 각 요소의 변형을 계산한다.

$$\Delta_m = 0.209(\theta + 2)^{-0.32} w \quad (6)$$

여기서,  $\Delta_m$ 은 최대 응력에 있는 요소의 변형이며,  $\theta$ 는 저항력이 용접 선분의 축과 이루는 각,  $w$ 는 용접사이즈이다.

- ②  $\frac{\Delta_m}{r}$ 을 계산한다. (7)

여기서,  $r$ 은 IC로부터 요소의 도심까지의 반지름이다.

- ③ 가장 작은  $\frac{\Delta_m}{r}$ 를 갖는 요소가 임계요소이며, 이 요소는 가장 먼저 극한 내력에 도달하게 되며, 이 임계 요소에 대한 극한변형은 식(8)을 이용해 산정한다.

$$\Delta_u = 1.087(\theta + 6)^{-0.65} w \leq 0.17w \quad (8)$$

- ④ 다른 요소에 대한 변형은 식(9)를 이용해 구한다.

$$\Delta = r \frac{\Delta_u}{r_{crit}} \quad (9)$$

- ⑤ 각 요소의 응력은 식 (10)을 이용해 산정한다.

$$F_w = 0.60F_{EXX}(1 + 0.5 \sin^{1.5}\theta)[p(1.9 - 0.9p)]^{0.3} \quad (10)$$

여기서,  $F_{EXX}$ 는 용접봉의 강도이며, 각 요소에 대해  $p = \frac{\Delta}{\Delta_m}$ 이다.

앞의 과정은 순간회전중심(IC)을 가정함으로써 수행된다. 만약 가정한 IC위치가 실제 위치라면 평형방정식은 만족할 것이다. 이 이후 과정은 다음과 같다.

- ⑥ 식(11)의 수직하중에 대한 평형방정식과 모멘트방정식으로부터 하중내력을 구한다.

$$\Sigma R_y = P, \quad \Sigma M_{IC} = 0 \quad (11)$$

- ⑦ 단계 ⑥에서의 두 개의 평형방정식이 만족된다면, 가정한 순간중심의 위치와 단계 ⑥에서 구한 하중은 일치하게 되며, 그렇지 않으면, 새로운 위치를 가정한 전체과정을 반복한다.

2.2. 비보강받침접합의 AISC(매뉴얼) 설계법

AISC매뉴얼(AISC 2010)에 의한 비보강받침접합의 설계 강도는 보의 반력에 필요한 소요지압길이( $N_{req}$ ) 및 편심을 고려한 내민다리(OSL)의 내력과 지지부재에 접합되는 수직 다리(LLV)의 용접강도를 산정하여 구하게 된다. H형강 보의 웨브국부항복과 웨브크리플링강도를 고려하여 소요지압길이를 식(12)와 식(13)을 이용하여 산정한다.

H형강 보의 국부항복강도에 대한 소요지압길이는 식(12)를 이용하여 산정한다.

$$N = \frac{P_u}{\phi F_{yw} t_w} - 2k \quad (12)$$

여기서,  $P_u$ 는 계수하중,  $\phi$ 는 저항계수로서 1.0,  $t_w$ ,  $F_{yw}$ 는 H형강 웨브의 두께와 항복강도,  $k$ 는 플랜지표면에서 웨브플랫 선단까지의 거리이다.

위의 계산은 AISC매뉴얼 표 9-4(AISC 2010)의 식들을 이용하여 아래의 식(13)을 이용하기도 한다.

$$N = \max\left(\frac{P_u - \phi R_1}{\phi R_2}, \frac{P_u - \phi R_3}{\phi R_4}, \frac{P_u - \phi R_5}{\phi R_6}, k\right) \quad (13)$$

여기서,  $R_1 = 2.5kF_{yw}t_w$   
 $R_2 = F_{yw}t_w$   
 $R_3 = 0.40t_w^2 \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$   
 $R_4 = 0.40t_w^2 \left(\frac{3}{d}\right) \left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5} \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$   
 $R_5 = 0.40t_w^2 \left(1 - 0.2\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right) \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$   
 $R_6 = 0.40t_w^2 \left(\frac{4}{d}\right) \left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5} \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$

편심길이는 식(12) 또는 (13)을 이용한 소요지압길이와 제작시 오차를 고려한 띄움길이(setback)를 이용하여 산정한다. 이를 바탕으로  $\gamma$ 형강의 내민다리(OSL)는 편심을 고려한 한계상태의 전단항복과 휨항복을 고려하여 산정하며, 받침  $\gamma$ 형강의 소요길이  $L_{req}$ 은 식(14)를 이용하여 산정한다.

$$L_{req} = \frac{4P_u e}{\phi F_y t^2} \quad (14)$$

AISC매뉴얼에서는 식 (13)을 이용하여 소요지압길이 ( $N_{req}$ )를 산정한 후 AISC매뉴얼 표 10-6을 이용하여  $\gamma$ 형강의 강도와 수직다리(LLV) 부위의 용접강도를 산정하기도 한다. 이때 수직다리(LLV)부위의 용접부에 대한 설계강도는 평면내의 편심을 고려하여 계산하게 된다. 그러나 AISC매뉴얼 표 10-6의 용접강도 산정방법은 내민다리(OSL)에서 띄움거리(setback)를 감한 전체길이의 중심에서부터 편심을 계산한 값으로 도표화되어 있기 때문에, 이를 이용할 경우 언제나 보수적으로 설계된다. 따라서 이를 개선하기 위해 AISC기준에서는 소성범인 순간회전중심법으로 실제 편심을 근거로 용접강도를 산정하기도 한다(AISC J2.4b절 참고).

### 2.3 비보강받침접합의 KBC 2009 설계법

KBC기준(대한건축학회, 2010)에서는 H형강 보의 국부항복을 방지하기 위하여 공칭강도는 식(15)를 이용하여 산정한다.

$$R_n = (2.5k + N)F_{yw}t_w \geq R_u \quad (15)$$

소요지압길이( $N_{req}$ )는 식 (16)으로부터 산정하여 구한다.

$$N_{req} = \frac{(R_u - R_1)}{R_2} \geq k \quad (16)$$

여기서,  $R_1 = 2.5kF_{yw}t_w$

$$R_2 = F_{yw}t_w$$

$k$  :플랜지표면에서 웨브필렛 선단까지의 거리

H형강 보의 웨브크리플링 강도는 식(17),(18)을 이용한다.

$N/d \leq 0.2$  인 경우

$$R_n = 0.40t_w^2 [1 + 3(N/d)(t_w/t_f)^{1.5}] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (17)$$

$N/d > 0.2$  인 경우

$$R_n = 0.40t_w^2 [1 + (4N/d - 0.2)(t_w/t_f)^{1.5}] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (18)$$

위 식들로부터 받침  $\gamma$ 형강의 소요길이  $L$ 은 식 (19)를 이용해 산정한다.

$$L_{req} = \frac{4P_u e}{\phi F_y t^2} \quad (19)$$

## 3. 설계도표 및 설계방법 제안

### 3.1 설계도표 제안

2.2절에서 언급한 것처럼 기존 비보강받침접합의 설계는 소요지압길이( $N_{req}$ )를 산정 후 받침용  $\gamma$ 형강의 내민다리(OSL) 설계강도와 수직다리(LLV)의 용접강도를 산정하는 등 그림 4와 같이 상대적으로 복잡한 절차를 거치게 되고, 만약 검증단계에서 부적합으로 판정될 경우  $\gamma$ 형강의 사이즈와 강도를 증가시켜 재산정과정을 거치게 된다. 이와 같은 복잡한 설계절차를 간편화하고 경제적인 설계를 위하여 설계도표를 이용한 설계절차가 필요하다.

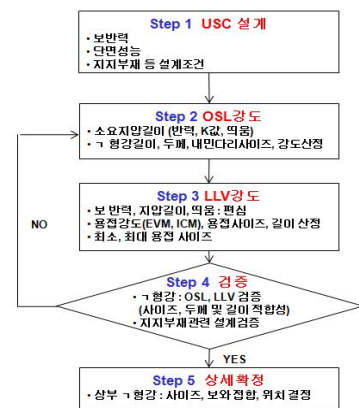


그림 4. 비보강받침접합의 설계절차(AISC)

이 연구에서는 비보강받침접합의 받침다리 설계시 용접강도 산정을 위한 실용적인 설계절차와 설계도표를 제안한다(부록 표 1~4 참고). 먼저 소요하중에 따른 필요  $\Gamma$ 형강의 길이를 산정하기 위해  $\Gamma$ 형강의 내민다리(OSL) 길이와 두께에 따른 강도를 산정하여 부록 표 1에 정리하였다. 다음으로 소요지압길이와 띄움거리에 의한 편심에 따라  $\Gamma$ 형강의 수직다리(LLV) 용접강도를 산정하기 위하여 지압길이별로 탄성법과 소성법을 이용하여 KBC 2009기준과 AISC(SI 단위)에 의한 단위사이즈 당 용접강도는  $\Gamma$ 형강의 수직다리사이즈 및 소요지압길이( $N_{req}$ )와 띄움거리(setback,  $S$ )에 의한 편심에 따라 작성하여 부록 표 2~4에 각각 정리하였다. 설계절차는 먼저,  $\Gamma$ 형강의 내민다리(OSL)강도를  $\Gamma$ 형강의 길이(받침폭)와 소요지압거리별로 내민다리(OSL) 두께에 따라 부록 표 1을 이용하여 구한 후, 소요지압거리별 단위 용접강도는 최소 및 최대 사이즈를 고려하여 부록 표 2의 KBC 2009의 탄성법(EVM)을 이용해 구한다. 이는 부록 표 3과 4를 이용해 AISC에 의한 탄성법(EVM)과 소성법(ICM)에 의한 단위용접강도를 산정할 수도 있다. 이때 용접봉의 강도는 490MPa를 사용하였다. 본 연구에서 제안하는 설계방법은 그림 5와 같이 간단한 단계를 거치게 되며, 소요지압길이에 따라 받침  $\Gamma$ 형강의 내민다리와 수직다리 및 소요용접사이즈를 직접 구할 수 있어 그림 4의 검증단계(Step 4)에 의한 피드백(Feed back) 단계를 거치지 않고 설계를 수행할 수 있으므로 제안 도표를 이용한 설계방법은 기존 설계방법(KBC 2009, AISC매뉴얼)에 비해 보다 간편하고 실용적인 설계절차를 제공한다.



그림 5. 제안도표를 사용한 비보강받침접합의 설계절차

### 3.2 설계예제

이 연구에서 제안하는 비보강받침접합의 설계방법을 소개하기 위해 아래와 같은 예제를 사용한 후 AISC매뉴얼 LRFD 설계와 KBC 설계를 비교한다.

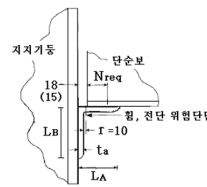
**설계예제)** 아래와 같은 반력을 받는 보와 기둥플랜지 사이 비보강받침접합의  $\Gamma$ 형강과 용접부를 설계한다.

**설계조건)**  $R_D=42\text{kN}$ ,  $R_L=126\text{kN}$

단,  $F_{EXX}=490\text{MPa}$ 를 사용하며, 보와 상부  $\Gamma$  및 받침  $\Gamma$ 형강 사이는 표준구멍의 2-M20, F8T-N볼트를 사용하고 밀착조임(STJ)한다.

**재질규격)** 보 : H-496×199×9×14, k=34 (SHN 490)

기둥 : H-350×250×9×14 (SHN 490)



보의 띄움(setback)은 12mm로 하고, 제작시 보길이의 감소를 고려하여 18mm로 계산한다.

그림 6. 설계예제의 상세 및 표기

① 설계하중 산정

$$R_u = 1.2(42) \times 1.6(126) = 252\text{kN}$$

② 소요지압길이( $N_{req}$ ) 산정

국부웨브항복에 대하여

$$N_{req} = \frac{R_u - \phi R_1}{\phi R_2} = \frac{(252 - 249)}{2.93} = 1.02$$

웨브크리플링에 대하여

$$N_{req} = \frac{R_u - \phi R_3}{\phi R_4} = \frac{(252 - 247)}{0.771} = 6.5$$

$$N = \max\left(\frac{P_u - \phi R_1}{\phi R_2}, \frac{P_u - \phi R_3}{\phi R_4}, \frac{P_u - \phi R_5}{\phi R_6}, k\right) = 34$$

$$\therefore N_{req} = k = 34$$

③  $\Gamma$ 형강 내민다리(OSL)의 전단항복과 휨항복 검토

$\Gamma$ 형강의 내민다리길이( $L_A$ )는 200mm(최소 내민다리 길이 90mm)로 가정하면 부록 표 1에서  $N_{req} = 34$ ,  $t = 15\text{mm}$  일 때 내민다리강도는;

$$\phi R_n = 238\text{kN} < 252\text{kN} \quad \text{N.G.}$$

비례식에 의해  $\phi R_n = 252\text{kN}$ 을 만족하기 위한

내민다리길이를 산정하면  $L_A = 212\text{mm}$  이상이어야 하므로,  $L_B = 225\text{mm}$ 로 가정하면

$$\therefore \phi R_n = (238)(225/200) = 268\text{kN} > 252\text{kN} \quad \text{O.K.}$$

④  $\Gamma$ 형강 수직다리(LLV)의 용접사이즈 검토

$\Gamma$ 형강 수직다리의 용접사이즈를 선정하기 위하여 부록 표 2의 KBC(탄성법)에 의한 단위용접강도를 산정하면  $N_{req} = 34$ 일 때의 단위용접강도는;

$F_{EXX} = 490\text{MPa}$ 일 경우  
 $\phi r_w = 27.9\text{kN/mm}$  ( $L_w = 200\text{mm}$ 에서)  
 $Req'd S = 252/27.9 = 9.03\text{mm}$   
 $\therefore \phi R_n = (9.03)(27.9) = 252\text{kN O.K.}$   
 $\therefore$   $\Gamma$ 형강의 사이즈는 L-200×100×15( $t = 225$ )로 가  
 능하나 KS시리즈에는 없으므로 L-200×200×15  
 ( $t = 225$ ) 사용.

그림 7은 설계예제에 대한 비보강받침접합부의 상세이다. 위 예제의 표 2(KBC기준 이용)에 의한 제안결과와 표 4, 5(AISC 이용)를 이용한 탄성법과 소성법의 설계결과를 표 1에 정리하였으며, 기존설계(KBC 2009, AISC매뉴얼) 방법을 사용하여 산정한 설계결과도 제안 결과와 비교하기 위해 표 1에 정리하였다.

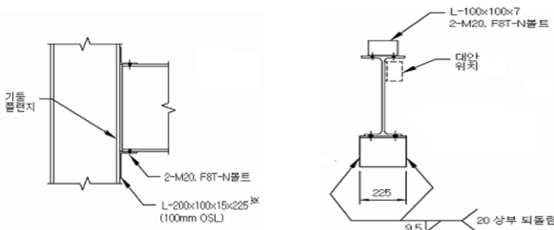


그림 7. 설계예제의 비보강받침 상세

표1. 기존방법과 제안방법의 설계결과 비교

구 분		OSL 받침강도 ( $t_a = 15\text{mm}$ )	LLV 용접강도 ( $L_B = 200\text{mm}$ )
AISC	기존		$w = 7\text{mm}$ $\phi R_n = 277\text{kN}$
	제안	$L_A = 200\text{mm}$ $\phi R_n = 253\text{kN}$	$w = 6\text{mm}$ $\phi R_n = 294\text{kN}$
			$w = 6\text{mm}$ $\phi R_n = 362\text{kN}$
KBC	기존	$L_A = 200\text{mm}$ $\phi R_n = 238\text{kN}$	$w = 12\text{mm}$ $\phi R_n = 271\text{kN}$
	제안 EVM	$L_A = 225\text{mm}$ $\phi R_n = 268\text{kN}$	$w = 9.0\text{mm}$ $\phi R_n = 268\text{kN}$

### 3.3 비보강받침접합의 용접강도 비교

비보강받침접합의 AISC에 의한 탄성법(EVM) 및 소성법(ICM)의 용접부 설계강도와 KBC 2009의 탄성법(EVM)에 의한 설계강도를 비교하면 그림 8과 같다. 그림 8의 상부곡선은 AISC의 탄성법과 소성법의 용접강도 비율을 도표화 한 것이며 용접부의 설계강도를 비교한 결과 AISC에서 소성법에 의한 용접강도가 탄성법에 의한 강도보다 용접길이( $\Gamma$ 형강 수직다리사이즈)에 따라 약 15~56% 정도 크며, 소요지압길이(편심길이)가 클수

록 그리고 용접길이가 짧을수록 용접강도가 커짐을 알 수 있다.

또한 그림 8의 상부곡선의 KBC기준에 의한 용접강도대비 AISC의 탄성법(EVM) 및 소성법(ICM)의 용접강도 비율을 산정하여 비교한 결과, KBC기준의 용접강도는 기존 AISC의 탄성법(EVM) 용접강도의 약 57% 수준이며, AISC의 소성법(ICM)에 비해서는 더욱 더 보수적인 것으로 나타났다. 이는 KBC기준에서 용접부 설계강도를 모재의 항복강도를 근거로 규정하여, AISC에 비해 매우 안전측으로 설계되기 때문이다. 이로 인해 KBC기준으로 설계시 받침  $\Gamma$ 형강의 폭이 넓고 두께가 두꺼우며, 지압길이가 짧은 경우에는 소요용접사이즈가 모살용접의 최대사이즈를 초과하게 되어 KS시리즈의  $\Gamma$ 형강 제품을 사용하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 그림 8의 하부곡선은 받침 전체길이에 산정한 기존의 용접강도와 제안한 소요지압길이에 의해 산정한 결과를 비교한 것이며, AISC와 KBC기준 설계에서 모두 효과적임을 알 수 있다.

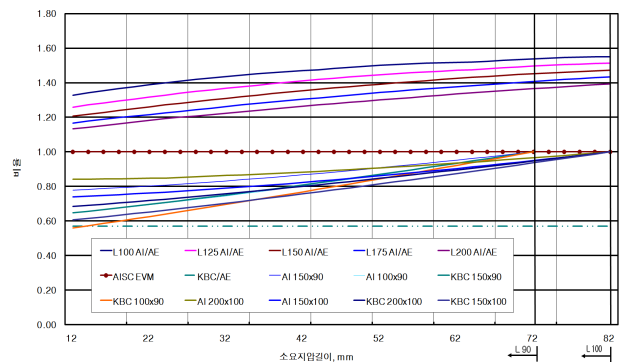


그림 8. 비보강받침접합의 용접강도 비교

## 4. 결론

이 연구에서는 용접접합되는 비보강받침접합의 실용적인 설계를 위해 소요지압길이를 근거로 KBC기준의 탄성법과 AISC에 의한 탄성법 및 소성법으로 용접강도를 산정하는 설계도표를 제안하였다. 이 설계도표들은 내민다리(OSL)의 강도에 따라 필요한 용접사이즈와 강도를 직접 구할 수 있어 비보강받침접합을 경제적이고 실용적으로 설계할 수 있다.

또한 각 설계기준별 용접강도를 비교한 결과 AISC의 ICM/EVM 용접강도 비율은 약 1.15~1.56이며, KBC 기준은 AISC EVM에 비해 약 1.76배, ICM에 대해서는 2.0~2.7 배로 매우 보수적으로 설계됨을 알 수 있었다. 이로 인해 소요용접사이즈가 모살용접의 최대사이즈를 초과하게 될 경우가 발생하며, 경제적인 설계를 위해서는 현재 4종, 10가지인 KS의 부등변  $\Gamma$ 형강재를 7종 40가지인 ASTM과 같이 사이즈와 두께의 다양화가 필요하다.

참 고 문 헌

대한건축학회(2010) 건축구조기준 및 해설(2009).  
 양재근, 전성삼, 최정환, 김성미(2010) 상·하부 ㄱ형강 접합부의 초기회전강성 해석모델, 2010년도 학술대회발표집, 한국 강구조학회, pp.277-278.  
 최선규(2011) 비보강받침점합의 용접강도에 대한 고찰, 2011년도 학술대회발표집, 한국강구조학회, pp.31-32.

AISC (2010) Steel Construction Manual, 14<sup>th</sup> ed., American Institute of Steel Construction, Inc.

Tamboli, A.R. (2010) Handbook of Structural Steel Connection Design and Details, McGrawHill, pp.145-148.

(접수일자 : 2011. 10. 2/ 심사일 2011. 10. 4/ 심사완료일 2012. 3. 30)

부 록

표 2. 소오지압길이별 ㄱ형강 두께별 내민다리강도 도표

KBC (Fy=235)(N-18 setback)  
비보강받침 전용점합

소오지압 길이 N <sub>req.</sub> , mm	ㄱ형강 내민다리 강도, kN										최소 ㄱ형강 다리처수 mm
	ㄱ형강 길이, mm										
	200										
	7		10		13		15		25		
	ASD*	LRFD	ASD*	LRFD	ASD*	LRFD	ASD*	LRFD	ASD*	LRFD	
10	57.6	<b>86.4</b>	188	<b>282</b>							90
12	49.4	<b>74.0</b>	176	<b>264</b>							
14	43.2	<b>64.8</b>	141	<b>212</b>							
16	38.4	<b>57.6</b>	118	<b>176</b>							
18	34.5	<b>51.8</b>	101	<b>151</b>	244	<b>367</b>					
20	31.4	<b>47.1</b>	88.1	<b>132</b>	238	<b>357</b>					
22	28.8	<b>43.2</b>	78.3	<b>118</b>	199	<b>298</b>					
24	26.6	<b>39.9</b>	70.5	<b>106</b>	170	<b>255</b>	282	<b>423</b>			
26	24.7	<b>37.0</b>	64.1	<b>96.1</b>	149	<b>223</b>	264	<b>397</b>			
28	23.0	<b>34.5</b>	58.8	<b>88.1</b>	132	<b>199</b>	227	<b>340</b>			
30	21.6	<b>32.4</b>	54.2	<b>81.3</b>	119	<b>179</b>	198	<b>297</b>			
32	20.3	<b>30.5</b>	50.4	<b>75.5</b>	108	<b>162</b>	176	<b>264</b>			
<b>34</b>	<b>19.2</b>	<b>28.8</b>	<b>47.0</b>	<b>70.5</b>	<b>99.3</b>	<b>149</b>	<b>159</b>	<b>238</b>			
36	18.2	<b>27.3</b>	44.1	<b>66.1</b>	91.7	<b>137</b>	144	<b>216</b>			
38	17.3	<b>25.9</b>	41.5	<b>62.2</b>	85.1	<b>128</b>	132	<b>198</b>			
40	16.5	<b>24.7</b>	39.2	<b>58.8</b>	79.4	<b>119</b>	122	<b>183</b>			
42	15.7	<b>23.6</b>	37.1	<b>55.7</b>	74.5	<b>112</b>	113	<b>170</b>			
44	15.0	<b>22.5</b>	35.3	<b>52.9</b>	70.1	<b>105</b>	106	<b>159</b>			
46	14.4	<b>21.6</b>	33.6	<b>50.4</b>	66.2	<b>99.3</b>	99.1	<b>149</b>			
48	13.8	<b>20.7</b>	32.0	<b>48.1</b>	62.7	<b>94.1</b>	92.2	<b>140</b>			

ㄱ형강 Fy = 235MPa  
 ASD LRFD  
 $\Omega_{tt} = 1.50$   $\phi_{tt} = 1.0$   
 $\Omega_{tt} = 1.67$   $\phi_{tt} = 0.9$

표 3. KBC기준에 의한 소오지압길이별 단위용접강도 도표 (탄성법)

KBC T10-60RE 탄성법(Elastic Method)(s = 18)  
비보강받침 용접다리 강도(Fy = 235)

소오지압 길이 N <sub>req.</sub> , mm	e	L																							
		90				100				125				150				175				200			
		a	Ce	Rw		a	Ce	Rw		a	Ce	Rw		a	Ce	Rw		a	Ce	Rw					
		ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD						
10	23.0	0.256	0.656	6.99	10.49	0.230	0.695	8.23	12.34	0.184	0.770	11.40	17.11	0.153	0.823	14.62	21.93	0.131	0.861	17.84	26.76	0.115	0.888	21.04	31.56
12	24.0	0.267	0.640	6.82	10.24	0.240	0.679	8.05	12.07	0.192	0.757	11.20	16.80	0.160	0.812	14.42	21.63	0.137	0.851	17.64	26.46	0.120	0.880	20.84	31.26
14	25.0	0.278	0.625	6.66	9.99	0.250	0.664	7.87	11.80	0.200	0.743	11.00	16.51	0.167	0.800	14.21	21.32	0.143	0.841	17.44	26.15	0.125	0.872	20.65	30.97
16	26.0	0.289	0.610	6.50	9.75	0.260	0.650	7.70	11.54	0.208	0.730	10.81	16.21	0.173	0.789	14.01	21.01	0.149	0.831	17.23	25.85	0.130	0.863	20.45	30.67
18	27.0	0.300	0.595	6.34	9.52	0.270	0.635	7.53	11.29	0.216	0.717	10.62	15.92	0.180	0.777	13.81	20.71	0.154	0.821	17.03	25.54	0.135	0.855	20.24	30.37
20	28.0	0.311	0.581	6.20	9.29	0.280	0.622	7.36	11.04	0.224	0.704	10.43	15.64	0.187	0.766	13.60	20.41	0.160	0.812	16.82	25.23	0.140	0.846	20.04	30.06
22	29.0	0.322	0.568	6.05	9.06	0.290	0.608	7.20	10.81	0.232	0.692	10.24	15.36	0.193	0.754	13.40	20.11	0.166	0.802	16.62	24.92	0.145	0.837	19.84	29.76
24	30.0	0.333	0.555	5.91	8.87	0.300	0.595	7.05	10.57	0.240	0.679	10.06	15.09	0.200	0.743	13.21	19.81	0.171	0.792	16.41	24.62	0.150	0.829	19.63	29.45
26	31.0	0.344	0.542	5.78	8.67	0.310	0.583	6.90	10.35	0.248	0.667	9.88	14.82	0.207	0.732	13.01	19.51	0.177	0.782	16.21	24.31	0.155	0.820	19.43	29.14
28	32.0	0.356	0.530	5.65	8.47	0.320	0.570	6.76	10.13	0.256	0.656	9.71	14.56	0.213	0.721	12.82	19.22	0.183	0.772	16.01	24.01	0.160	0.812	19.22	28.84
30	33.0	0.367	0.518	5.52	8.29	0.330	0.559	6.62	9.92	0.264	0.644	9.53	14.30	0.220	0.711	12.63	18.94	0.189	0.762	15.80	23.71	0.165	0.803	19.02	28.53
32	34.0	0.378	0.507	5.40	8.11	0.340	0.547	6.48	9.72	0.272	0.633	9.37	14.05	0.227	0.700	12.44	18.66	0.194	0.753	15.60	23.41	0.170	0.794	18.81	28.22
<b>34</b>	<b>35.0</b>	<b>0.389</b>	<b>0.496</b>	<b>5.29</b>	<b>7.93</b>	<b>0.350</b>	<b>0.536</b>	<b>6.35</b>	<b>9.52</b>	<b>0.280</b>	<b>0.622</b>	<b>9.20</b>	<b>13.81</b>	<b>0.233</b>	<b>0.690</b>	<b>12.25</b>	<b>18.38</b>	<b>0.200</b>	<b>0.743</b>	<b>15.41</b>	<b>23.11</b>	<b>0.175</b>	<b>0.786</b>	<b>18.61</b>	<b>27.92</b>
36	36.0	0.400	0.486	5.18	7.77	0.360	0.525	6.22	9.33	0.288	0.611	9.04	13.57	0.240	0.679	12.07	18.11	0.206	0.734	15.21	22.82	0.180	0.777	18.41	27.61
38	37.0	0.411	0.476	5.07	7.60	0.370	0.515	6.10	9.15	0.296	0.600	8.89	13.33	0.247	0.669	11.89	17.84	0.211	0.724	15.02	22.52	0.185	0.769	18.21	27.31
40	38.0	0.422	0.466	4.96	7.45	0.380	0.505	5.98	8.97	0.304	0.590	8.74	13.11	0.253	0.659	11.72	17.57	0.217	0.715	14.82	22.24	0.190	0.760	18.00	27.01
42	39.0	0.433	0.456	4.86	7.30	0.390	0.495	5.86	8.80	0.312	0.580	8.59	12.88	0.260	0.650	11.54	17.31	0.223	0.706	14.64	21.95	0.195	0.752	17.80	26.71
44	40.0	0.444	0.447	4.77	7.15	0.400	0.486	5.75	8.63	0.320	0.570	8.44	12.67	0.267	0.640	11.37	17.06	0.229	0.697	14.45	21.67	0.200	0.743	17.61	26.41
46	41.0	0.456	0.438	4.67	7.01	0.410	0.477	5.64	8.47	0.328	0.561	8.30	12.46	0.273	0.631	11.21	16.81	0.234	0.688	14.26	21.40	0.205	0.735	17.41	26.12
48	42.0	0.467	0.430	4.58	6.87	0.420	0.468	5.54	8.31	0.336	0.552	8.17	12.25	0.280	0.622	11.04	16.57	0.240	0.679	14.08	21.12	0.210	0.727	17.22	25.83
50	43.0	0.478	0.422	4.50	6.74	0.430	0.459	5.44	8.16	0.344	0.543	8.03	12.05	0.287	0.613	10.88	16.33	0.246	0.671	13.90	20.85	0.215	0.719	17.02	25.54
52	44.0	0.489	0.414	4.41	6.62	0.440	0.451	5.34	8.01	0.352	0.534	7.90	11.86	0.293	0.604	10.73	16.09	0.251	0.662	13.73	20.59	0.220	0.711	16.83	25.25
54	45.0	0.500	0.406	4.33	6.49	0.450	0.443	5.24	7.87	0.360	0.525	7.78	11.66	0.300	0.595	10.57	15.86	0.257	0.654	13.55	20.33	0.225	0.703	16.65	24.97
56	46.0	0.511	0.399	4.25	6.38	0.460	0.435	5.15	7.73	0.368	0.517	7.65	11.48	0.307	0.587	10.42	15.64	0.263	0.646	13.38	20.07	0.230	0.695	16.46	24.69
58	47.0	0.522	0.392	4.17	6.26	0.470	0.427	5.06	7.59	0.376	0.509	7.53	11.30	0.313	0.578	10.28	15.42	0.269	0.637	13.21	19.82	0.235	0.687	16.28	24.41
60	48.0	0.53	0.385	4.10	6.15	0.480	0.420	4.98	7.46	0.384	0.501	7.42	11.12	0.320	0.570	10.13	15.20	0.274	0.630	13.05	19.57	0.240	0.679	16.09	24.14
62	49.0	0.544	0.378	4.028	6.04	0.490	0.413	4.89	7.34	0.392	0.493	7.30	10.95	0.327	0.562	9.99	14.99	0.280	0.622	12.89	19.33	0.245	0.672	15.91	23.87
64	50.0	0.556	0.371	3.959	5.94	0.500	0.406	4.81	7.22	0.400	0.486	7.19	10.78	0.333	0.555	9.85	14.78	0.286	0.614	12.73	19.09	0.250	0.664	15.74	23.61
66	51.0	0.567	0.365	3.892	5.84	0.510	0.399	4.73	7.10	0.408	0.478	7.08	10.62	0.340	0.547	9.72	14.58	0.291	0.606	12.57	18.85	0.255	0.657	15.56	23.34
68	52.0	0.578	0.3																						

표 4. AISC기준에 의한 소모지압길이별 단위용접강도 도표 (탄성법)

AISC T10-60RE 탄성법(Elastic Method)(s = 18)  
비모강받침 용접다리 강도(F<sub>exx</sub> = 490MPa)

Required Bearing Length N <sub>req</sub> , mm	e	L																							
		90				100				125				150				175				200			
		a	C <sub>e</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>e</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>e</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>e</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>e</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>e</sub>	R <sub>w</sub>	
				ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD
10	23.0	0.256	0.656	12.26	18.42	0.230	0.695	14.45	21.67	0.184	0.770	20.02	30.02	0.153	0.823	25.67	38.50	0.131	0.861	31.31	46.97	0.115	0.888	36.93	55.39
12	24.0	0.267	0.640	11.98	17.97	0.240	0.679	14.12	21.19	0.192	0.757	19.66	29.50	0.160	0.812	25.31	37.96	0.137	0.851	30.96	46.44	0.120	0.880	36.58	54.88
14	25.0	0.278	0.625	11.69	17.53	0.250	0.664	13.81	20.72	0.200	0.743	19.32	28.97	0.167	0.800	24.95	37.42	0.143	0.841	30.60	45.90	0.125	0.872	36.24	54.36
16	26.0	0.289	0.610	11.41	17.11	0.260	0.650	13.51	20.26	0.208	0.730	18.97	28.46	0.173	0.789	24.59	36.88	0.149	0.831	30.24	45.37	0.130	0.863	35.89	53.83
18	27.0	0.300	0.595	11.14	16.71	0.270	0.635	13.21	19.82	0.216	0.717	18.63	27.95	0.180	0.777	24.23	36.35	0.154	0.821	29.88	44.83	0.135	0.855	35.53	53.30
20	28.0	0.311	0.581	10.87	16.31	0.280	0.622	12.92	19.39	0.224	0.704	18.30	27.45	0.187	0.766	23.88	35.82	0.160	0.812	29.52	44.29	0.140	0.846	35.18	52.77
22	29.0	0.322	0.568	10.62	15.93	0.290	0.608	12.64	18.97	0.232	0.692	17.98	26.96	0.193	0.754	23.53	35.29	0.166	0.802	29.16	43.75	0.145	0.837	34.82	52.23
24	30.0	0.333	0.555	10.38	15.57	0.300	0.595	12.37	18.56	0.240	0.679	17.66	26.46	0.200	0.743	23.18	34.77	0.171	0.792	28.81	43.21	0.150	0.829	34.46	51.69
26	31.0	0.344	0.542	10.14	15.21	0.310	0.583	12.11	18.17	0.248	0.667	17.34	26.01	0.207	0.732	22.83	34.25	0.177	0.782	28.45	42.67	0.155	0.820	34.10	51.15
28	32.0	0.356	0.530	9.92	14.87	0.320	0.570	11.86	17.79	0.256	0.656	17.03	25.55	0.213	0.721	22.50	33.74	0.183	0.772	28.09	42.14	0.160	0.812	33.74	50.61
30	33.0	0.367	0.518	9.70	14.55	0.330	0.559	11.61	17.42	0.264	0.644	16.73	25.10	0.220	0.711	22.16	33.24	0.189	0.762	27.74	41.61	0.165	0.803	33.38	50.07
32	34.0	0.378	0.507	9.49	14.23	0.340	0.547	11.37	17.06	0.272	0.633	16.44	24.66	0.227	0.700	21.83	32.75	0.194	0.753	27.39	41.08	0.170	0.794	33.02	49.53
34	35.0	0.389	0.496	9.28	13.92	0.350	0.536	11.14	16.71	0.280	0.622	16.15	24.23	0.233	0.690	21.51	32.26	0.200	0.743	27.04	40.56	0.175	0.786	32.67	49.00
36	36.0	0.400	0.486	9.09	13.63	0.360	0.525	10.92	16.38	0.288	0.611	15.87	23.81	0.240	0.679	21.19	31.78	0.206	0.734	26.70	40.05	0.180	0.777	32.31	48.46
38	37.0	0.411	0.476	8.90	13.35	0.370	0.515	10.70	16.06	0.296	0.600	15.60	23.40	0.247	0.669	20.87	31.31	0.211	0.724	26.36	39.54	0.185	0.769	31.95	47.93
40	38.0	0.422	0.466	8.71	13.07	0.380	0.505	10.49	15.74	0.304	0.590	15.34	23.00	0.253	0.659	20.56	30.85	0.217	0.715	26.02	39.03	0.190	0.760	31.60	47.40
42	39.0	0.433	0.456	8.54	12.81	0.390	0.495	10.29	15.44	0.312	0.580	15.08	22.61	0.260	0.650	20.26	30.39	0.223	0.706	25.69	38.53	0.195	0.752	31.25	46.88
44	40.0	0.444	0.447	8.37	12.55	0.400	0.486	10.10	15.14	0.320	0.570	14.82	22.23	0.267	0.640	19.96	29.94	0.229	0.697	25.36	38.04	0.200	0.743	30.90	46.36
46	41.0	0.456	0.438	8.20	12.30	0.410	0.477	9.91	14.86	0.328	0.561	14.58	21.86	0.273	0.631	19.67	29.51	0.234	0.688	25.04	37.55	0.205	0.735	30.56	45.84
48	42.0	0.467	0.430	8.04	12.07	0.420	0.468	9.72	14.58	0.336	0.552	14.34	21.50	0.280	0.622	19.39	29.08	0.240	0.679	24.72	37.08	0.210	0.727	30.22	45.33
50	43.0	0.478	0.422	7.89	11.84	0.430	0.459	9.54	14.32	0.344	0.543	14.10	21.15	0.287	0.613	19.11	28.66	0.246	0.671	24.40	36.60	0.215	0.719	29.88	44.82
52	44.0	0.489	0.414	7.74	11.61	0.440	0.451	9.37	14.06	0.352	0.534	13.87	20.81	0.293	0.604	18.83	28.25	0.251	0.662	24.09	36.14	0.220	0.711	29.55	44.32
54	45.0	0.500	0.406	7.60	11.40	0.450	0.443	9.20	13.81	0.360	0.525	13.65	20.47	0.300	0.595	18.56	27.84	0.257	0.654	23.79	35.68	0.225	0.703	29.22	43.83
56	46.0	0.511	0.399	7.46	11.19	0.460	0.435	9.04	13.56	0.368	0.517	13.43	20.15	0.307	0.587	18.30	27.45	0.263	0.646	23.49	35.23	0.230	0.695	28.89	43.34
58	47.0	0.522	0.392	7.33	10.99	0.470	0.427	8.89	13.33	0.376	0.509	13.22	19.83	0.313	0.578	18.04	27.06	0.269	0.637	23.19	34.79	0.235	0.687	28.57	42.85
60	48.0	0.533	0.385	7.20	10.79	0.480	0.420	8.73	13.10	0.384	0.501	13.02	19.52	0.320	0.570	17.79	26.68	0.274	0.630	22.90	34.35	0.240	0.679	28.25	42.37
62	49.0	0.544	0.378	7.07	10.61	0.490	0.413	8.59	12.88	0.392	0.493	12.82	19.22	0.327	0.562	17.54	26.31	0.280	0.622	22.62	33.92	0.245	0.672	27.93	41.90
64	50.0	0.556	0.371	6.949	10.42	0.500	0.406	8.44	12.66	0.400	0.486	12.62	18.93	0.333	0.555	17.30	25.95	0.286	0.614	22.34	33.50	0.250	0.664	27.62	41.43
66	51.0	0.567	0.365	6.831	10.25	0.510	0.399	8.30	12.46	0.408	0.478	12.43	18.64	0.340	0.547	17.06	25.59	0.291	0.606	22.06	33.09	0.255	0.657	27.32	40.97
68	52.0	0.578	0.359	6.717	10.07	0.520	0.393	8.17	12.25	0.416	0.471	12.24	18.35	0.347	0.540	16.82	25.24	0.297	0.598	21.78	32.68	0.260	0.650	27.01	40.50

표 5. AISC기준에 의한 소모지압길이별 단위용접강도 도표 (소성법)

AISC T10-60RI 소성법(IC Method)(s = 18)  
비모강받침 용접다리 강도(F<sub>exx</sub> = 490MPa)

N	e	L																							
		90				100				125				150				175				200			
		a	C <sub>i</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>i</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>i</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>i</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>i</sub>	R <sub>w</sub>		a	C <sub>i</sub>	R <sub>w</sub>	
				ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD			ASD	LRFD
10	23.0	0.256	3.29	16.56	24.84	0.230	3.39	18.96	28.48	0.184	3.56	24.93	37.4	0.153	3.66	30.7	46.1	0.131	3.69	36.1	54.2	0.115	3.71	41.5	62.2
12	24.0	0.267	3.24	16.31	24.47	0.240	3.35	18.76	28.14	0.192	3.54	24.75	37.1	0.160	3.64	30.6	45.8	0.137	3.68	36.1	54.1	0.120	3.70	41.4	62.2
14	25.0	0.278	3.19	16.07	24.10	0.250	3.31	18.54	27.80	0.200	3.51	24.57	36.9	0.167	3.62	30.4	45.6	0.143	3.68	36.0	54.1	0.125	3.70	41.4	62.1
16	26.0	0.289	3.14	15.82	23.73	0.260	3.27	18.29	27.43	0.208	3.48	24.35	36.5	0.173	3.60	30.2	45.3	0.149	3.67	36.0	54.0	0.130	3.69	41.3	62.0
18	27.0	0.300	3.09	15.57	23.36	0.270	3.22	18.04	27.06	0.216	3.45	24.12	36.2	0.180	3.57	30.0	45.0	0.154	3.66	35.8	53.7	0.135	3.69	41.3	61.9
20	28.0	0.311	3.04	15.33	23.00	0.280	3.18	17.80	26.70	0.224	3.41	23.90	35.8	0.187	3.55	29.8	44.8	0.160	3.64	35.7	53.5	0.140	3.68	41.2	61.8
22	29.0	0.322	2.99	15.09	22.64	0.290	3.13	17.55	26.33	0.232	3.38	23.67	35.5	0.193	3.53	29.7	44.5	0.166	3.62	35.5	53.2	0.145	3.68	41.2	61.7
24	30.0	0.333	2.95	14.85	22.28	0.300	3.09	17.30	25.96	0.240	3.35	23.45	35.2	0.200	3.51	29.5	44.2	0.171	3.60	35.3	52.9	0.150	3.67	41.1	61.7
26	31.0	0.344	2.90	14.61	21.92	0.310	3.05	17.06	25.59	0.248	3.32	23.23	34.8	0.207	3.48	29.3	43.9	0.177	3.58	35.1	52.7	0.155	3.65	40.9	61.4
28	32.0	0.356	2.85	14.37	21.55	0.320	3.00	16.82	25.23	0.256	3.28	22.99	34.5	0.213	3.46	29.0	43.6	0.183	3.56	34.9	52.4	0.160	3.64	40.7	61.1
30	33.0	0.367	2.80	14.13	21.19	0.330	2.96	16.58	24.87	0.264	3.25	22.74	34.1	0.220	3.43	28.8	43.2	0.189	3.55	34.8	52.1	0.165	3.62	40.6	60.8
32	34.0	0.378	2.76	13.89	20.83	0.340	2.92	16.34	24.51	0.272	3.21	22.49	33.7	0.227	3.40	28.6	42.9	0.194	3.53	34.6	51.9	0.170	3.61	40.4	60.6
34	35.0	0.389	2.71	13.65	20.47	0.350	2.88	16.10	24.15	0.280	3.18	22.25	33.4	0.233	3.38	28.4	42.5	0.200	3.51	34.4	51.6	0.175</			