

필릿용접부 공칭강도 산정을 위한 횡방향 보정계수 제안

조재병¹ · 김윤기^{2*}

¹교수, 경기대학교, 토목공학과, ²박사과정, 경기대학교, 토목공학과

Proposal of Transverse Correction Factor for the Calculation of Nominal Strength of Fillet Welded Joints

Jo, Jae Byung¹, Kim Yun Gi^{2*}

¹Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, Kyonggi, 162270, Korea

²The Doctor's Course, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, Kyonggi, 162270, Korea

Abstract - The types of stresses on the expected failure surface of fillet welds are expected to vary depending on the direction of load to the axis of fillet weld. The fracture strengths of fillet welds are known to be greater when they are loaded transversely than longitudinally. There are not a few foreign design codes in which higher nominal strengths are stipulated for transverse fillet welds than those for longitudinal fillet welds. In this study, test results for transverse fillet welded joints were collected. By analyzing the data statistically, a formula was derived for the calculation of nominal strengths of the transverse fillet welds depending on the tensile strength of base material. The calculated nominal strengths of transverse fillet welds are compared with those of longitudinal fillet welds given in the previous study. The correction factors for transverse fillet welds are obtained to be about 1.2. Thus a transverse correction factor of 1.2 is proposed to be applied to the nominal strength given in KDS 14 31 25 for transverse fillet welds. Comparison with test results shows that the proposed values for transverse fillet welds are reasonably on the safe side for all range of tensile strengths of base material.

Keywords - Transverse Fillet Welded Joint, Nominal Strength of Fillet Welds, Transverse Correction Factor, Strength of Base Material, Mismatched Welding

1. 서론

강구조물 구성 요소의 연결에 많이 사용되는 필릿용접은 용접 축에 대한 작용하중의 방향에 따라 용접부에 작용하는 응력의 종류가 변하며, 동일한 필릿용접부의 경우에도 그 파괴강도는 다르게 나타날 수 있다.

하중작용 방향이 필릿용접의 축방향과 평행한 경우는 종방향 필릿용접이라고 부르며, 용접부 예상 파단면에는 주로 용접부 길이 방향의 전단응력이 발생한다. 하중작용 방향이 용접의 축방향

과 직각을 이룬 경우는 횡방향 필릿용접이라 하며, 이때 용접부 예상 파단면에 발생하는 응력은 수직응력과 전단응력의 조합으로 종방향 필릿용접부에 주로 발생하는 응력과 다르다. 일반적으로 횡방향용접부는 종방향필릿용접부 보다 더 큰 하중에서 파괴되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라, 횡방향 필릿용접부의 경우 종방향 필릿용접부에 비해 더 큰 공칭강도를 사용하고 있는 해외 설계기준도 적지 않다.

국내 강구조 연결 설계기준 KDS 14 31 25^[1]에서는 필릿용접부 공칭강도 산정 시 작용하는 하중 방향에 대한 구분 없이 모든 경우에 대해 종방향 필릿용접부의 공칭강도와 동일한 값을 적용하는 것으로 규정되어 있다. 이 경우 설계상 간편한 장점은 있으나 더 큰 공칭강도가 예상되는 횡방향 필릿용접부에 대해서는 비경제적인 설계 규정이 될 수 있다.

이 연구에서는 세계 각국에서 수행한 횡방향 필릿용접부에 대한 강도 시험결과를 수집하고 분석하여, 횡방향 필릿용접부 공칭강도 산정 시 기존 국내 기준에 적용 가능한 횡방향 보정계수를 제

Note.-Discussion open until December 31, 2019. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on February 13, 2019; revised April 19, 2019; approved on April 19, 2019.

Copyright © 2019 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-82-10-6229-0872 Fax. +82-31-248-7506

E-mail. goodream@hanmail.net

안하고자 한다.

2. 문헌조사 및 연구방향

2.1 국내의 설계기준

국내의 강구조 연결 설계기준^[1]의 필릿용접부 공칭강도는 종방향 필릿용접부의 공칭강도를 기준으로 하중작용 방향에 상관없이 적용하고 있다. 미국의 AISC^[4]는 필릿용접 축방향에 대한 하중방향 각도의 Sin함수를 적용하고 있으며, 하중방향 각도가 90°인 횡방향 필릿용접부 경우에는 종방향 공칭강도의 1.5배를 사용하고 있다.

EC3^[2]에서는 횡방향 필릿용접부 공칭강도가 종방향 공칭강도보다 1.225배 크게 산정되나, 사용자 편의를 위하여 하중 방향에 상관없는 간편식을 추가로 명기해 놓았다. 영국의 BS 5400^[3]에서는 종방향 필릿용접부 강도에 보정계수를 곱하여 횡방향 필릿용접부 강도를 산정하게 되어 있으며, 이때 보정계수의 크기는 하중 방향과 용접부 목에 직각인 방향과의 사이각의 함수이다.

Table 1. Comparison of nominal strength of fillet welds in various design codes

Design standards	Nominal strength of fillet welds
KDS 14 31 25 ^[1]	$0.6 F_u^{(1)}$
ANSI/AISC 360-10 ^[4]	$0.60 F_{exx} (1.0 + 0.5 \sin^{1.5} \theta)^{(2)}$
Eurocode 3 ^[2]	$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} \leq F_w / \beta_w^{(3)}$
	$F_w / (\sqrt{3} \beta_w)^{(4)}$
BS 5400-3 ^[3]	$\sigma_w / \sqrt{3}^{(5)}$ for longitudinal welds
	$K \sigma_w / \sqrt{3}^{(6)}$ for transverse welds

where, F_u = Tensile strength of base material

F_{exx} = Strength of weld metal

1) for HSB460 : $0.56 F_u$, for HSB690 : $0.45 F_u$

2) θ : the load angle measured from the longitudinal axis of weld

3) by Directional method : Correction factor for steel grades β_w
(= 0.8~1.2)

4) by Simplified method

5) $\sigma_w = 1/2(\sigma_y + 455)$, σ_y : the smaller nominal yield stress

6) $K = \sqrt{3/(1 + 2\cos^2 \theta_1)} \leq 1.4$

θ_1 : the angle between the force F_t and the throat of the weld

2.2 국내의 문헌

국내연구 사례로는 Jo et al.(2006)^[5]은 SM520강재에 대한 모재의 두께와 용접치수에 따른 필릿용접부의 강도 시험을 수행하여 횡방향 필릿용접부 강도가 종방향 용접부 강도보다 약 1.3~1.5배 정도 크게 나타난 시험결과를 발표하였다.

미국의 Bowman and Quinn(1994)^[6]은 ASTM A572 강종을 사용하여 용접길이와 용접 간격에 따른 강도시험을 수행한 결과 횡방향 필릿용접부 강도가 종방향 필릿용접부 강도보다 약 1.3~1.7배 크게 발생한다고 발표하였다.

스웨덴의 Collin and Johansson(2005)^[8]은 미스매칭된 필릿용접부의 적정 강도식을 구하기 위하여 Weldox 700E 강종을 사용한 시험 결과로부터 다음과 같은 필릿용접부의 공칭강도식을 제안하였다.

$$F_{R,L} = \frac{f_w A_w}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$F_{R,T} = \frac{f_w A_w}{\sqrt{1.5}} \quad (2)$$

여기서, $F_{R,L}$: 종방향 필릿용접부 강도

$F_{R,T}$: 횡방향 필릿용접부 강도

f_w : 모재와 용접금속 인장강도의 산술평균

캐나다의 Ng and Driver^[15]는 횡방향 필릿용접부의 형상을 겹침이음과 십자형이음으로 구분하여 실험하였으며, 그 결과 십자형이음 필릿용접부 강도가 겹침이음 필릿용접부 강도의 약 70~80% 수준으로 이음형상에 따라 횡방향 필릿용접부의 강도가 크게 차이가 발생한다고 발표하였다.

2.3 조사 결과 분석 및 연구 방향

국내외 설계기준과 근래의 연구결과를 포함하고 있는 관련 문헌을 조사하고 검토한 결과 횡방향 필릿용접부의 강도에 대한 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 국내 기준 KDS^[1]를 제외한 대부분의 설계기준은 필릿용접부의 축방향과 하중 작용방향의 각도에 따라 각기 다른 공칭강도를 사용함.
- 국외 기준에 따라 산출한 횡방향 필릿용접부의 공칭강도는 종방향 필릿용접부에 비해 미국의 AISC^[4]의 경우 1.5배, 유럽의 EC 3^[2]의 경우 1.225배.
- 시험을 통한 국내외 연구결과 횡방향 필릿용접부 강도가 종방향 필릿용접부 강도의 약 1.3~1.7배.

- 횡방향 필릿용접부의 강도는 겹침이음과 십자형이음으로 구분되는 용접부 형상에 따라 영향을 받음.
- 횡방향 필릿용접부 공칭강도에 대해 여러 시험결과를 통합적으로 분석한 연구 결과는 아직 알려진 것이 없음.

이상과 같은 검토 분석 결과에 따라 국내기준의 필릿용접부 공칭강도 산정식도 하중작용 방향에 따라 공칭강도를 보정하여 사용할 수 있는 방안이 제시될 필요가 있다고 판단된다.

이 연구에서는 다양한 강종에 대해 수집 가능한 모든 횡방향 필릿용접부 강도시험 결과를 수집·분석하고, 종합적으로 통계처리하여 횡방향 필릿용접부의 강도를 적절히 추정할 수 있는 합리적인 대안을 제시하고자 한다.

3. 횡방향 필릿용접부 강도 추정식 도출

3.1 시험자료 분석

이 연구의 분석에 사용한 시험결과는 모재의 인장강도가 400~1000MPa의 범위인 경우를 대상으로 하였으며, 사용한 시험자료의 출처는 Table 2와 같다.

Table 2. Test cases and sources used for the analysis

Parent Material		Weld metal		Source
Code	$f_{m,u}$	Code	$f_{wm,u}$	
A 572	450	E7028	496	Bowman and Quinn(1994) ^[6]
Gr. 300W	509	E48014	538	Miazga and Kennedy(1986) ^[11]
HSF 640	746	OK74.78	739	Niemi(1988) ^[7]
		OK A13.12	849	
Weldox 700	833	OK75.75	758	Collin and Johansson (2005) ^[8]
Domex 650	827	OK48.00	548	
A 36	468	E7018	483	Preece(1968) ^[9]
A 441	551	E9018	621	
A 514	843	E11018	758	
S355	550	G42	577	Kob et al.(1987) ^[10]
S690	826			
Gr. 350W	551	E7014	493~631	Ng (2005) ^[15]
FeE460	613~725	G60	620	Eurocode 3 Editorial Group (1990) ^[12]
S355	557	G42	583	Kuhlmann et al. (2008) ^[13]
S460	621	G46	639	
S690	871	G69	836	
H-SA700B	780	YGW11	490	Yamamoto and Suita (2015) ^[16]
S690	836	G69	800~834	Kuhlmann and Rasche (2012) ^[14]
S700	935	G89	1028	

시험결과 중 파단이 모재 또는 모재와 용접금속 부분에 혼재하여 발생하거나 과도한 용접결함 등으로 비정상적인 파단이 발생한 경우 등은 제외하였고 파단면이 용접금속부분에서 발생한 경우만을 통계분석에 사용하였다.

3.1.1 이음형상 종류에 따른 영향

횡방향 필릿용접부 형상은 Fig.1. b)에 나타난 것과 같이 겹침이음과 십자형이음으로 구분할 수 있다. Ng and Driver^[15] 등은 시험을 통하여 횡방향 필릿용접부 강도가 이음형상의 종류에 따라 서로 다를 수 있다고 하였다.

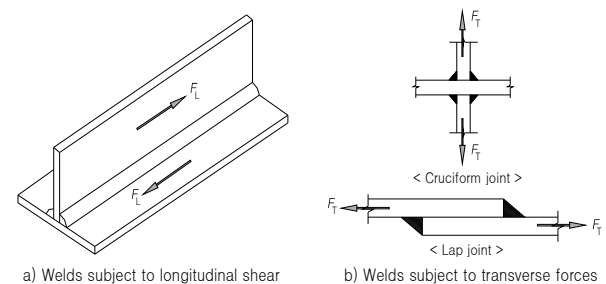


Fig. 1. Type of fillet welded joint

Fig. 2.는 횡방향 필릿용접부 형상의 종류가 용접부 강도에 미치는 영향을 검토하기 위해 이 연구의 분석 대상 시험 결과를 이음형상의 종류별로 구분하여 모재의 인장강도에 따라 나타낸 것이다. 특정 시험의 경우, 또는 시험 결과 중 일부 값이 겹침이음 시험편의 강도가 십자형이음의 경우보다 상대적으로 크게 나타난 경우가 있으나 모든 시험 값에 대해 종합적으로 보았을 때 이음형상의 종류에 관계없이 대략적으로 동일한 범위 내에 분산되어 있음을 알 수 있다. 따라서 이 연구에서는 이음형상의 종류가 용접강도에 미치는 영향이 없는 것으로 간주하고, 횡방향 필릿용접부 공칭강도 추정에 겹침이음과 십자형이음에 대한 시험 결과를 함께 사용하였다.

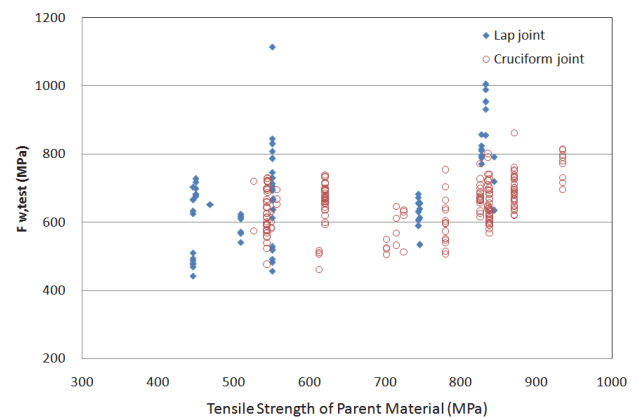


Fig. 2. Strengths of transverse fillet welds of Lap and Cruciform Joints

3.1.2 미스 매칭용접에 대한 보정

필릿용접부 강도는 모재의 강도뿐만 아니라 용접금속의 강도에 의해서 영향을 받는다^[16]. 횡방향 필릿용접의 경우 통계적으로 분석에 사용할 수 있는 시험의 경우 수와 시험결과와 개수가 제한적이고, 시험 값의 분포 범위도 종방향 필릿용접의 경우에 비하여 크다. 또한 매칭비(모재 인장강도에 대한 용접금속 인장강도의 비)가 횡방향 필릿용접부의 강도에 미치는 영향을 보정할 수 있는 계수 등이 제시된 바 없다. 따라서 이 연구에서는 공칭강도 추정식을 유도함에 있어 가능한 한 용접금속의 매칭비에 의한 영향을 배제하기 위하여 매칭비에 대한 영향이 종방향필릿용접부의 경우와 거의 동일할 것으로 가정하고 식 (3)과 같은 Jo and Kim(2018)^[18]에 따른 매칭비 보정계수를 적용하였다. 즉 시험 값을 매칭비 보정계수로 나누어서 구한 값을 매칭 용접의 경우에 대한 강도로 가정하고, 이 값들을 통계적으로 분석하여 횡방향필릿용접부의 공칭강도 추정식을 유도하였다.

$$\alpha_m = 0.280\gamma + 0.721 \quad (3)$$

$$F_{w,e}^c = \frac{F_{w,e}}{\alpha_m} \quad (4)$$

여기서,

α_m : 매칭비 보정계수(조재병(2018))

γ : 매칭비(=용접금속 인장강도 / 모재 인장강도)

$F_{w,e}$: 필릿용접시험강도 (MPa)

$F_{w,e}^c$: 매칭용접 횡방향필릿용접시험강도 추정값 (MPa)

3.2 강도 계산식 도출

횡방향 필릿용접부의 강도계산식 도출을 위한 통계처리방법은 Jo and Kim(2018)^[18]에서 적용하였던 방법과 동일하며, 다음과 같다.

모재의 인장강도가 서로 다른 경우의 시험결과를 함께 분석하기 위해 식 (4)에서 구한 용접부 강도 시험 값을 다음과 같이 모재의 전단강도로 무차원화 시킨 무차원 필릿용접시험강도 값을 사용했다. 여기서 모재의 전단강도는 von Mises의 이론에 따라 모재의 인장강도를 $\sqrt{3}$ 으로 나눈 값으로 가정하였다.

$$\overline{F_{w,e}} = \frac{F_{w,e}^c}{F_{us}} = \frac{\sqrt{3} \times F_{w,e}^c}{F_u} \quad (5)$$

여기서, $\overline{F_{w,e}}$: 무차원필릿용접시험강도

$F_{w,e}^c$: 매칭용접 횡방향필릿용접시험강도 추정값 (MPa)

$$F_{us} : \text{모재 전단강도(MPa)} (= \frac{F_u}{\sqrt{3}})$$

F_u : 모재의 인장강도 (MPa)

Fig. 3.은 무차원 필릿용접시험강도를 모재의 인장강도에 따라 나타낸 것이다. 전체적으로 모재의 인장강도가 증가할수록 그 값이 감소하는 것을 보여주고 있다.

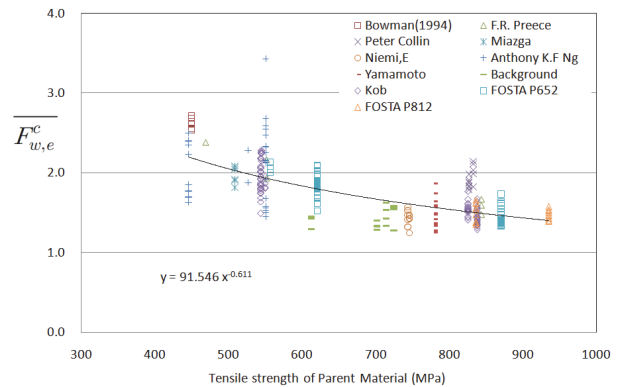


Fig. 3. Non dimensional test strengths of fillet welds vs. tensile strengths of base material

무차원화 시킨 필릿용접 강도는 모재의 인장강도에 따라 영향을 받는 것으로 나타나므로 이 연구에서는 횡방향 필릿용접강도 계산식을 다음 식 (6)와 같이 모재의 전단강도에 모재의 인장강도에 따른 보정계수를 곱하는 형식으로 하였다.

$$F_{wT,cal,50\%} = \alpha \frac{F_u}{\sqrt{3}} = 91.546 \times F_u^{-0.611} \frac{F_u}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

여기서,

$F_{wT,cal,50\%}$: 확률 50% 횡방향 필릿용접부 강도 계산 값

F_u : 모재의 인장강도 (MPa)

α : 모재의 인장강도에 따른 보정계수

식 (4)에 의한 매칭용접 횡방향필릿용접시험강도 추정 값을 위의 식 (6)을 이용하여 구한 강도 계산 값으로 나누어 무차원화 시킨 후, 이 값들을 모재의 인장강도에 따라 나타내면 Fig. 4.와 같다. 무차원화 시킨 매칭용접 횡방향필릿용접시험강도 추정 값들은 모재의 인장강도 전체 범위에서 거의 균일하게 1.0 부근에 분포하는 것으로 나타났다.

이 값들의 평균은 1.0089이고, 표준편차는 0.1375으로 계산되

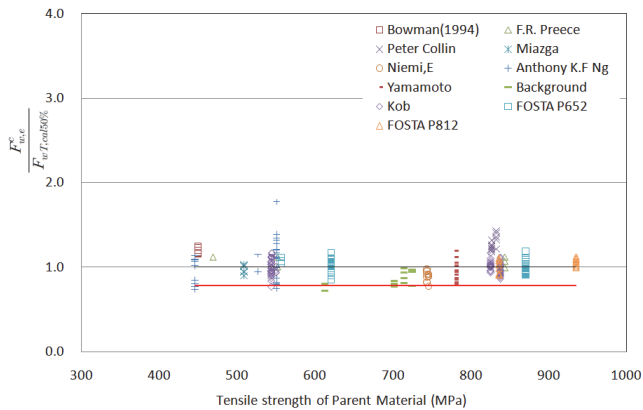


Fig. 4. Normalized test strengths vs. tensile strengths of base material

었다. 이 값들의 분포를 정규분포로 간주하고 공칭강도 값으로 95% 값을 취하면 공칭강도 계산식은 식 (7)과 같다.

$$F_{wT,cal} = 71.648 \times (F_u)^{-0.611} \frac{F_u}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

$F_{wT,cal}$: 횡방향 필릿용접부 공칭강도 계산 값

식 (7)을 사용하여 계산한 공칭강도와 시험결과(식 (4)에 따라 매칭용접의 경우로 추정된 값)를 비교하여 보았다. 각각의 시험자료에 의해 계산된 공칭강도는 시험결과에 대하여 잘 부합되는 것으로 나타났으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

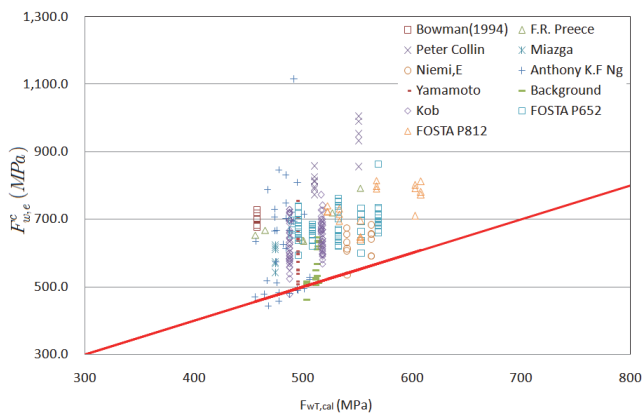


Fig. 5. Test strengths vs. calculated nominal strengths

4. 횡방향 보정계수

4.1 국내의 설계기준 비교

EC3^[2]의 횡방향 필릿용접부 공칭강도는 식 (8)로 주어져 있다. 여기서 식에 사용된 β_w 는 강종에 따른 보정계수이며 Table 3

과 같다. 최근 보완·수정한 DIN EN 1993-1-8/NA와 DIN EN 1993-1-12/NA에 제시된 보정계수(β'_w)도 Table 3에 같이 명기해 놓았다.

$$F_{wT,EC} = F_u / (\sqrt{2} \beta_w) \quad (8)$$

Table 3. Correlation factor β_w for fillet welds

Steel grade	S235	S275	S355	S420	S460	S690
β_w	0.8	0.85	0.9	1.0	1.0	1.0
β'_w	0.8	0.85	0.9	0.88	0.85	1.2

AISC^[4]에서는 용접금속의 인장강도를 주요 변수로 사용하여 필릿용접의 공칭강도를 구한다. 매칭비 1.0의 경우에는 용접금속의 인장강도 대신 모재의 인장강도를 적용할 수 있으므로 횡방향 필릿용접부에 대한 공칭강도 계산식은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{wT,AISC} = 0.60 F_u \times 1.5 \quad (9)$$

Fig. 6은 각국의 설계기준에 따른 횡방향필릿용접부의 공칭강도를 나타낸 것이다. 종방향 필릿용접부와 동일한 공칭강도를 사용하는 국내의 KDS^[1]기준에 의해 산정된 필릿용접부 공칭강도는 식 (7)에 의한 값의 50~70% 수준으로 나타났다.

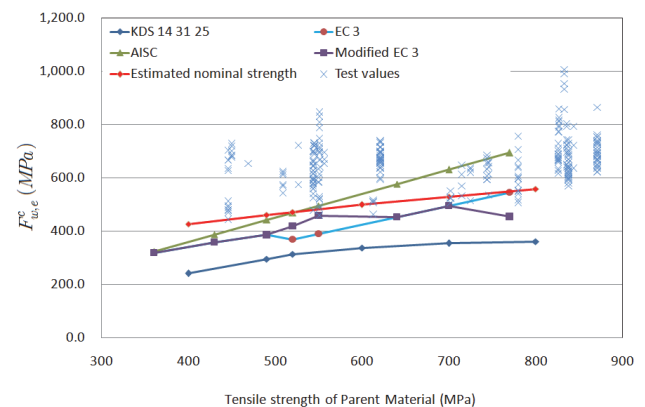


Fig. 6. Comparison of nominal strengths for Transverse fillet welds

AISC^[4]에 따른 횡방향필릿용접부 공칭강도 산출 식은 모재의 인장강도가 500MPa이상인 경우에 시험 결과와 비교해볼 때 너무 큰 것으로 나타났다. EC3^[2]에 의한 공칭강도는 대부분의 경우에 실험값보다 안전 측에 놓여있다.

이상과 같이 횡방향 필릿용접부에 대한 국내의 설계기준상의

공칭강도 비교와 시험 값의 분석 결과 등을 고려하면 현행 강구조 설계기준 KDS 14 31 25^[1]를 수정하여 횡방향 필릿용접부에 대한 공칭강도를 종방향 필릿용접부에 대한 공칭강도 대비 일정 비율로 증가시켜서 경제성을 확대시켜도 적절한 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 횡방향 보정계수 제안

횡방향보정계수를 종방향 필릿용접부 공칭강도에 대한 횡방향 필릿용접부 공칭강도의 비라고 정의한다면 보정계수는 이론상 식 (10)과 같다.

$$\alpha_T = \frac{F_{wT}}{F_{wL}} \quad (10)$$

여기서,

α_T : 필릿용접부 공칭강도에 대한 횡방향 보정계수

F_{wT} : 횡방향 필릿용접부 공칭강도

F_{wL} : 종방향 필릿용접부 공칭강도

이 연구에서는 횡방향 공칭강도로 식 (7)을 사용하고, 종방향 공칭강도로는 Jo and Kim(2018)^[18]이 제안한 다음의 식 (11)에 따른 값을 사용하였다.

$$F_{wL,cal} = (172.5 \times (F_u)^{-0.770}) \frac{F_u}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

이 공칭강도 계산식을 종방향 및 횡방향필릿용접의 시험결과와 함께 그림으로 나타내면 Fig. 7.과 같다. 여기서 공칭강도는 매칭용접의 경우에 대한 것이며, 시험결과는 매칭비 보정계수를 사용하여 식 (4)와 같이 수정한 값을 사용한 것이다.

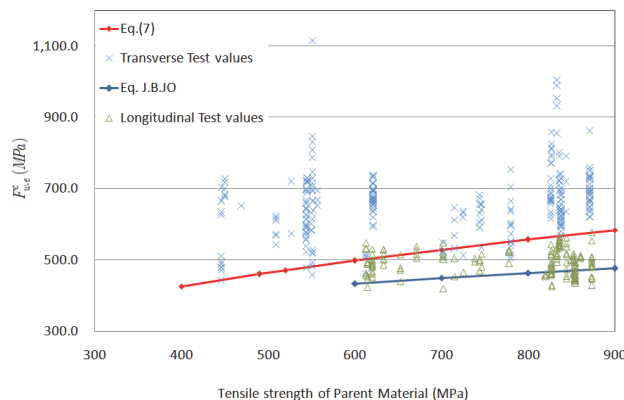


Fig. 7. Comparison of nominal strengths for transverse and longitudinal fillet welded joints

식 (10)에 공칭강도 계산식, 식 (7)과 식 (11)을 적용하여 구한 횡방향 보정계수는 Table 4와 같다. 보정계수는 모재의 인장강도가 증가함에 따라 증가하고 있다. 그러나 이 보정계수의 산출에 사용한 종방향 필릿용접 공칭강도 계산식 (11)도 모재의 인장강도가 600MPa 이상인 경우에 대한 시험 결과로부터 얻은 것이다. 따라서 인장강도 600MPa 이하의 강재에 대한 경우에 인장강도가 작아지면 동일한 경향으로 보정계수가 감소한다고 추정하는 것은 무리가 있다. 한편 강구조설계기준 KDS 14 31 25^[1]에 의한 공칭강도는 모재의 인장강도가 작을수록 시험 값에 비해 더 큰 안전 여유가 있는 것으로 알려져 있다(Jo and Lee, 2012)^[19].

이상과 같은 사용 가능한 시험 결과의 제한성, 인장강도가 작을수록 현행 기준의 필릿용접부 공칭강도에 안전 여유가 더 큰 점, 그리고 사용의 간편성을 고려하여 횡방향필릿용접의 강도로 현행 강구조설계기준 KDS 14 31 25^[1]에 의한 공칭강도에 모재의 인장강도에 관계없이 일정한 횡방향 보정계수, $\alpha_T = 1.2$ 를 곱한 값의 사용을 제안하고자 한다.

Table 4. Transverse Correlation factor α_T for Fillet welds

F_u (MPa)	600	700	800	900	Proposed
$F_{wT,cal}$	498	530	557	583	
$F_{wL,cal}$	434	449	463	476	
α_T	1.14	1.17	1.20	1.22	1.20

제안된 횡방향보정계수 1.2를 사용한 횡방향필릿용접부 공칭강도와 시험 값을 도식화 하면 Fig. 8.과 같다. 현행 강구조설계 기준의 공칭강도도 함께 표시하였다.

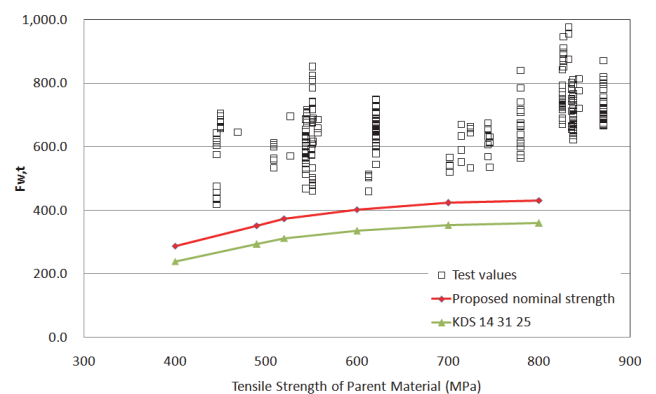


Fig. 8. Proposed nominal strength of Transverse fillet welds

시험 결과와 비교했을 때 제안된 횡방향보정계수를 적용한 횡방향 필릿용접의 공칭강도는 전체 모재의 인장강도 범위에서 적

절한 안전성을 확보할 수 있음을 보여주고 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 횡방향필릿용접부에 대해 국내외 시험자료를 수집하고, 분석하여 모재의 인장강도 따른 강도계산식을 제시하였고, 국내외의 설계기준에 따른 공칭강도와 서로 비교 분석하였다. 종방향 필릿용접부의 강도에 비하여 더 크게 나타나는 횡방향 필릿용접부의 강도를 국내 강구조설계기준에 반영할 수 있는 방안을 제시하고, 그 적절성을 검토하였다. 이 연구를 통해 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 이음형상 종류(겹침이음과 십자이음)에 따른 횡방향 필릿용접부 강도의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.
- (2) 모재의 전단강도로 무차원화 시킨 횡방향 필릿용접부의 시험 강도(잔존확률 95% 값)는 모재의 인장강도가 증가함에 따라 종방향 필릿용접부의 경우와 유사하게 작아지는 것으로 나타났다.
- (3) 횡방향 필릿용접부의 시험강도(잔존확률 95% 값)는 종방향 필릿용접의 경우(문헌17)에 비하여 모재 인장강도 600 MPa- 900 MPa 범위에서 대략 1.2배로 나타났다.
- (4) 해외 여러 나라 설계기준에는 횡방향 필릿용접부의 공칭강도를 종방향 용접부의 경우에 비하여 약 1.2~1.5배 더 큰 값을 제시하고 있다.
- (5) 횡방향 필릿용접의 강도로 현행 강구조설계기준 KDS 14 31 25^[11]에 의한 공칭강도에 모재의 인장강도 크기와는 상관없이 일정한 횡방향 보정계수, $\alpha_T = 1.2$ 를 곱한 값의 사용을 제안하였다.
- (6) 시험 결과와 비교했을 때 제안된 횡방향보정계수를 적용한 횡방향 필릿용접부 공칭강도는 전체 모재의 인장강도 범위에서 거의 비슷한 정도의 안전 여유를 보이고 있으며, 이 안전 여유 정도는 종방향 필릿용접의 경우와 거의 유사한 수준임을 알 수 있다. 따라서 제안된 횡방향 보정계수, $\alpha_T = 1.2$ 를 적용한 공칭강도는 시험 값 대비 안전 측에 놓여 있으며, 설계공칭 강도로 사용하기에 적절할 것으로 판단된다.

이 연구에서 매칭비가 횡방향필릿용접부의 강도에 미치는 영향에 대해 시험 결과와 기존 연구의 부족으로 인장강도 600MPa 이상의 고강도강재를 사용한 종방향필릿용접부에 대한 매칭비 보정계수를 적용하였다. 또한 횡방향 보정계수의 산출에도 모재의

인장강도 600MPa 이상인 종방향필릿용접의 강도식을 사용하였다. 향후에 횡방향용접부에 대한 매칭비 보정계수와 모재의 인장강도가 600MPa 미만인 경우까지 포함하는 횡방향 보정계수 등에 대한 통합적인 연구가 이루어진다면 실제 강도에 더 부합되고 경제적인 설계공칭강도식이 제안될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌(References)

- [1] 국토교통부(2017) 강구조연결 설계기준(KDS 14 31 25: 2017). Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017) *Steel Structure Design Code and Commentary* (KSD 14 31 25: 2017), Korea (in Korean).
- [2] European Committee for Standardization (2005) *Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1.8: Design of Joints* (EN 1993-1-8: 2005), Belgium.
- [3] British Standard Institution (2001) *Steel, Concrete and Composite Bridge, Part 3: Code of Practice for Design of Steel Bridge* (BS 5400-3), UK.
- [4] American Institute of Steel Construction (2010) *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-10), USA.
- [5] 조재병, 정경섭, 이정우(2006) 모재의 두께와 용접치수에 따른 필릿용접부의 강도, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제18권, 제3호, pp.331-337.
Jo, J.B., Jung, K.S., and Lee, J.W. (2006) Effects of Plate Thickness and Weld Size on the Strength of Fillet Welded Lap Joints, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.18, No.3, pp.331-337 (in Korean).
- [6] Bowman, M.D., and Quinn, B.P. (1994) Examination of Fillet Weld Strength, *Engineering Journal*, AISC, Vol.31, No.3, pp.98-108.
- [7] Niemi, E. (1988) *Tests on Fillet Weld Joints with High Strength Steel Specimens*, Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT, Finland.
- [8] Collin, P., and Johansson, B. (2005) Design of Welds in High Strength Steel, *Proceedings of the 4th European Conference on Steel and Composite Structures* (Vol. C), European Convention for Constructional Steel, Netherlands, pp.4.10-89-4.10-98.
- [9] Preece, F.R. (1968) *AWS-AISC Fillet Weld Study: Longitudinal and Transverse Shear Tests*, Testing Engineers, Inc., USA.
- [10] Kob, P., Harre, W., and Schmidt, H. (1987) *Einfluß geometrischer Verhältnisse auf die Tragfähigkeit statisch*

- beanspruchter Kehlhaftverbindungen (Influence of Geometrical Factors on the Load-Bearing Capacity of Statically Stressed Fillet Weld Joints)*, Otto-Graf-Institut, Germany (in German).
- [11] Miazga, G.S., and Kennedy, D.J.L. (1986) *Behaviour of Fillet Welds as a Function of the Angle of Loading*, Structural Engineering Report 133, University of Alberta, Canada.
- [12] Eurocode 3 Editorial Group (1990) *Evaluations of Test Results on Welded Connections Made from FeE 460 in Order to Obtain Strength Functions and Suitable Model Factors, Background Documentation Document D.03 Annex D*, European Committee for Standardization, Belgium.
- [13] Kuhlmann, U., Günter, H.-P., Rasche, C., Werner, F., Hildebrand, J., Wudtke, I., Vormwald, M., Beier, T., Versch, C., Köhler, G., Heinemann, H. (2008) *Wirtschaftliche Schweißverbindungen höherfester Baustähle (Economic Welded Connections of High Strength Steels for the Construction Sector)*, FOSTA P652 Final Report: Project No. AiF/IGF 14195 BG, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Germany (in German).
- [14] Kuhlmann, U., and Rasche, C. (2012) *Tragfähigkeit von Kehlhaftverbindungen höherfester Baustähle S690 im Stahlbau (Load Bearing Capacity of Fillet Welded Connections of High Strength Steel S690 for the Construction Sector)*, FOSTA P812: Project No. AiF/IGF 16097 N, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Germany (in German).
- [15] Ng, A.K.F., and Driver, R.G. (2002) *Behaviour of Transverse Fillet Welds*, Structural Engineering Report 245, University of Alberta, Canada.
- [16] 山本源人, 吹田啓一郎(2015) アンダーマッ칭溶接による高強度組立H形鋼を用いた骨組の溶接接合部耐力, 鋼構造論文集, 日本鋼構造協会, 第22巻, pp.23-37.
Yamamoto, G., and Suita, K. (2015) Strength of Connections of Moment Frames Consist of High Strength Steel Members Built-up by Undermatched Welding, *Journal of Japanese Society of Steel Construction*, JSSC, Vol.22, pp. 23-37 (in Japanese).
- [17] 김태수(2016) 페라이트계 스테인리스강 용접접합부의 모재 블록전단파단에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제28권, 제5호, pp.303-312.
Kim, T.S. (2016) An Experimental Study on Block Shear Fracture of Base Metal in Ferritic Stainless Steel Welded Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.5, pp.303-312 (in Korean).
- [18] 조재병, 김윤기(2018) 고강도 강재의 언더매칭 종방향 필릿 용접부 공칭강도, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제30권, 제6호, pp.347-354.
Jo, J.B., and Kim, Y.G. (2018) Strength of Undermatching Fillet Welded Longitudinal Joints of High Strength Steel, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.6, pp.347-354 (in Korean).
- [19] 조재병, 이해영(2012) 강종에 따른 종방향 필릿용접부 공칭 강도 계산식의 제안, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제5호, pp.503-510.
Jo, J.B., and Lee, H.Y. (2012) Proposal of Estimation Equation for Nominal Strength of Longitudinal Fillet Welds with Different Type of Steel, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.5, pp.503-510 (in Korean).

요 약: 필릿용접은 용접부 길이방향과 하중 작용 방향의 각도에 따라 필릿용접부에 작용하는 응력의 종류가 변화하며, 횡방향 필릿 용접부의 파괴강도가 종방향 필릿용접부의 파괴강도보다 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 횡방향 필릿용접부의 공칭강도를 종방향 필릿용접부의 경우 보다 큰 값을 적용하고 있는 해외 기준도 적지 않다. 이 연구에서는 횡방향 필릿용접부에 대한 국내외의 관련 시험자료를 수집·분석하여, 모재의 인장강도를 변수로 한 횡방향 필릿용접부의 공칭강도 계산식을 도출하였다. 횡방향 필릿 용접부의 계산 공칭강도와 이전 연구에서 구한 종방향 필릿용접부 공칭강도를 비교 하였으며, 계산값에 의한 횡방향 필릿용접부 보정 계수(횡방향 필릿용접부 공칭강도/종방향 필릿용접부 공칭강도)는 약 1.2로 나타났다. 따라서, KDS 14 31 25에 따라 산정된 공칭강도 값의 1.2배를 횡방향 필릿용접부의 공칭강도로 제안하였다. 제안된 횡방향 필릿 용접부 공칭강도를 시험결과와 비교해본 결과 모든 모 재의 인장강도 범위에 대해 합리적 수준의 안전 측에 놓이는 것으로 나타났다.

핵심용어: 횡방향 필릿용접부, 필릿용접 공칭강도, 횡방향 보정계수, 모재 인장강도, 미스매칭 용접