

일반철근(SD400) 용접 겹침이음 인장실험

박원태¹, 천경식^{2*}

¹공주대학교 건설환경공학부, ²포스코건설 엔지니어링본부 재료구조연구그룹

Tensile Test for Lap Welded Joints of Rebars(SD400)

Won-Tae Park¹, Kyoung-Sik Chun^{2*}

¹Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

²Material & Structure Research Group, Engineering Division, POSCO E&C

요약 철근콘크리트 구조물에서 철근의 이음은 철근을 겹쳐서 결속선으로 결속한 겹침이음과 커플러에 의한 기계적 이음이 일반적이다. 국내 설계기준(콘크리트구조기준)에서는 일반철근(비용접 철근)에 대해 용접 겹침이음을 제한하고 있으나, 해외 기준(AWS D1.4)에서는 예열을 통한 일반철근의 용접 겹침이음을 허용하고 있다. 본 연구에서는 국내의 규격 및 설계기준을 조사하고, 건설현장에서 가장 많이 사용되는 SD400 강종의 일반철근을 대상으로 용접 겹침이음 인장실험을 수행하여 인장강도를 평가하였다. 용접 겹침이음 시험체의 용접길이는 KS규격(KS B ISO 17660-1)에 제시된 최소용접길이인 8d를 적용하고, 예열온도는 AWS D1.4에 따라 D19이하는 150℃, D22이상은 260℃로 설정하였다. 인장실험 결과, 용접 겹침이음된 일반철근은 콘크리트구조기준에서 요구하는 인장강도(항복강도의 125%)를 발현하였으며, 모두 철근 모재에서 파단이 발생되었다. 예열 유무에 따른 영향을 검토하기 위해, 일반철근을 예열한 후 용접한 것과 예열 등의 열처리하지 않은 것을 비교한 결과, 인장강도는 큰 차이를 보이지 않았다. 실험시 사용한 일반철근을 대상으로 화학성분을 분석하여 탄소당량(Ceq)을 확인한 결과, 0.45% 이하로 낮았다. AWS D1.4에 따르면, 탄소당량이 0.45% 이하면 예열이 필요하지 않은 조건이다. 결과적으로 예열의 영향이 미비한 것은 일반철근의 탄소당량이 낮았기 때문인 것으로 확인되었다.

Abstract In reinforced concrete structures, the joints of ordinary rebars are usually lap joints, which are bound by binding wires with rebars, and mechanical joints by couplers. In domestic design standards (concrete design code), welded lap joints are restricted for ordinary rebars, but overseas standards allow welded lap joints of ordinary rebars through pre-heating. This study investigated the domestic and international standards/criteria and evaluated the fracture strength by performing the tensile test on the lap welded joint of SD400 grade rebars, which is used the most in the construction sites. The weld length of the specimen for weld lap joints is based on the minimum weld length (8d) given in the KS standard (KS B ISO 17660-1). According to AWS D1.4, the preheating temperature was set to 150℃ for D19 and below, and 260℃ for D22 and above. In the test results, the tensile strength of rebars with welded lap joints exceeded the required strength (125% of the yield strength) according to the concrete design code. To analyze the effect of preheating, the tensile strength of the welded rebars after preheating was not significantly different from that of the welded rebars without preheating. The carbon equivalent content (Ceq) of the rebars used in the test was 0.45% or less. Under AWS D1.4, no preheating is required if the carbon equivalent is less than 0.45%. All specimens with a welded lap length of 8d failed by a bar fracture. The effect of preheating was confirmed to be insignificant due to the low carbon equivalent of the rebar.

Keywords : Ordinary rebar, SD400, Tensile strength, Tensile test, Welded lap joint,

*Corresponding Author : Kyoung-Sik Chun(POSCO E&C)

Tel: +82-32-748-3138 email: chunkspe@poscoenc.com

Received February 28, 2018

Revised (1st April 2, 2018, 2nd April 23, 2018)

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

1. 서론

철근콘크리트 구조물에서 일반철근(비용접철근)의 이음은 철근을 서로 겹쳐서 결속선으로 결속하는 겹침이음과 커플러에 의한 기계적 이음이 일반적이다. 현장여건에 따라 철근의 겹침이음 길이가 충분히 확보되지 않는 경우 특히, 기존 구조물의 증축 또는 보수·보강시 이음길이가 부족한 경우, 이를 확보하기 위해 많은 부위의 기존 콘크리트를 제거해야 한다. 이 과정에서 기존 구조물의 안전성이 저하될 우려가 있고, 커플러에 의한 기계적 이음으로 대체하더라도, 결과적으로 현장의 원가상승을 유발한다. 이로 인해, 현장 작업자에 의해 임의로 용접되어 품질을 저하시킬 우려도 있다.

이에 본 연구에서는 국내의 관련기준을 조사하고 일반철근의 용접 겹침이음 시편을 제작하여 콘크리트구조 기준 해설(2012)에서 요구하는 인장강도(항복강도의 125%이상)를 발현하는지 인장실험을 수행하여 파괴강도를 평가한다[1]. 이를 통해 일반철근에 대한 적절한 용접가이드를 제시하고자 한다.

2. 관련기준

2.1 콘크리트구조기준

국내 콘크리트구조기준[1]에 따르면, 철근의 용접이음은 용접용 철근에 한하여 제한하고 있으며, 용접이음

의 강도는 설계기준항복강도 f_y 의 125% 이상 발휘되어야 한다. 그러나 Table 1에서 보듯이 KS D 3504에서는 인장강도/항복강도의 비율을 SD300, SD400에 대해서는 1.15배 이상, SD500과 SD600에 대해서는 1.08배 이상으로 규정하고 있다[2]. 따라서 설계기준항복강도의 125%에 도달하기 전에 철근 모재가 파단될 수 있다. 이런 경우 용접이음 성능을 만족하는 것으로 본다.

Table 1. Mechanical Properties of Rebars [2]

Grade	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)
SD300	300~420	≥ 1.15 f_y
SD400	400~520	≥ 1.15 f_y
SD500	500~650	≥ 1.08 f_y
SD600	600~780	≥ 1.08 f_y

2.2 AWS D1.4 및 ACI 318-14

미국용접협회(American Welding Society, AWS) 및 ACI 318에서는 예열을 통해 철근의 용접이음을 허용하고 있으며, Table 2와 같이 탄소당량과 철근 지름에 따라 예열온도를 규정하고 있다[3]. 기존 구조물의 증축 또는 보강에서 기존 구조물에 사용된 철근의 탄소당량을 확인할 수 없는 경우에는 19mm 이하 철근에는 150°C로, 22mm 이상 철근에는 260°C로 예열한 후 용접으로 이음할 수 있다. 참고로, 철근(ASTM A615, A706)의 탄소당량(Ceq)은 식 (1), (2)와 같이 산정한다. 단, A706

Table 2. Minimum Preheat and Interpass Temperatures [3]

Carbon Equivalent (C.E.) Range	Size of Reinforcing Bar	Minimum Temperature	
		°F	°C
Up to 0.40	Up to 11[36] inclusive 14 and 18 [43 and 57]	None	None
		50	10
Over 0.40 to 0.45 inclusive	Up to 11[36] inclusive 14 and 18 [43 and 57]	None	None
		50	10
Over 0.45 to 0.55 inclusive	Up to 6[19] inclusive 7 to 11 [22 to 36] 14 to 19 [43 to 57]	None	None
		50	10
		200	90
Over 0.55 to 0.65 inclusive	Up to 6[19] inclusive 7 to 11 [22 to 36] 14 to 19 [43 to 57]	100	40
		200	90
		300	150
Over 0.65 to 0.75	Up to 6[19] inclusive 7 to 18 [22 to 57] inclusive	300	150
		400	200
Over 0.75	Up to 6 [19] inclusive 7 to 18 [22 to 57] inclusive	300	150
		500	260

철근의 탄소당량은 최대 0.55%로 제한하고 있다.

$$C_{eq,A615} = C + \frac{Mn}{6} \quad (1)$$

$$C_{eq,A706} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} - \frac{Mo}{50} - \frac{V}{10} \leq 0.55\% \quad (2)$$

2.3 KS ISO 17660-1

국내 KS규격에서는 철근의 용접 겹침이음의 상세를 Fig. 1과 같이 규정하고 있다[4]. 철근지름의 8배 이상으로 용접하며, 용접 목두께는 철근지름의 0.3배 이상으로 규정하고 있다. 1면 용접 대신 2.5d씩 2곳 양면용접도 제시되어 있다. 단, 인장실험시 이음된 2가닥 철근의 중심선을 일치시켜야 하며, 이를 위해 철근을 휘어야 한다.

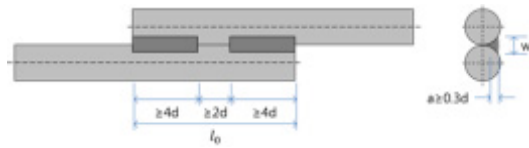


Fig. 1. Detail of Lap Welded Joint [4]

3. 실험모델 및 시편제작

2장에서 검토한 관련기준에 의거하여 건설현장에서 가장 많이 사용되는 SD400 일반철근을 대상으로 시험체의 제원 및 매개변수를 결정하였다. 즉, 시험체의 용접 길이 및 방법은 KS규격(KS B ISO 17660-1, [4])의 1면 용접 겹침이음에 준하되, 두 철근 중심축이 한 축으로 정렬되도록 Fig. 2와 같이 제작하였다[5].

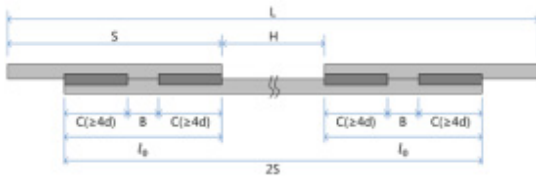


Fig. 2. Test Model

예열온도는 Table 3에서 보듯이 국내 일반철근은 P, S를 제외하고 화학성분에 대한 규정이 없으므로 AWS D1.4[3]의 “화학성분을 알 수 없는 조건”을 적용하여 D19이하는 150℃, D22이상은 260℃로 설정하였다.

Table 3. Chemical Composition [2]

No	KS 3504							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	N	Ceq
SD300	-	-	-	≤0.050	≤0.050	-	-	-
SD400	-	-	-	≤0.045	≤0.045	-	-	-
SD500	-	-	-	≤0.040	≤0.040	-	-	-
SD600	-	-	-	≤0.040	≤0.040	-	-	≤0.63

위에서 설명한 실험모델을 한 눈에 이해할 수 있도록 간단히 도식화하여 Fig. 3에 나타내었다. 건설현장에서 주로 사용하는 SD400 강종의 일반철근 4종(D13, D19, D25, D29)을 대상으로 각 직경별 예열 2개, 비예열 2개씩 총 16개의 시험체를 제작하였다. 제작과정은 Fig. 4와 같다. 용접 전 레이저 온도계로 철근의 표면온도를 측정하며 예열한 후, 예열온도(D19이하 150℃, D22이상 260℃)에서 즉시 용접하였다. Fig. 5는 용접이음으로 제작된 시험체 일부사진이다.

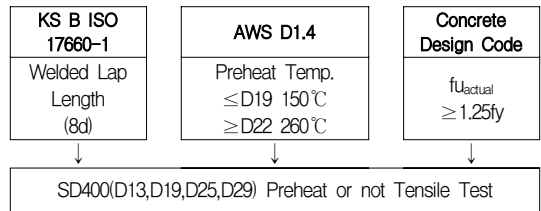


Fig. 3. Test Overview

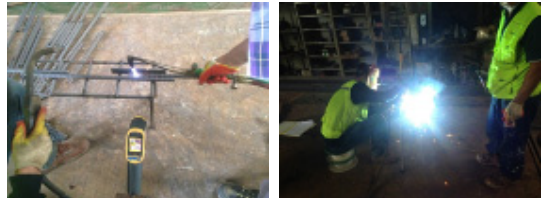


Fig. 4. Manufacturing View

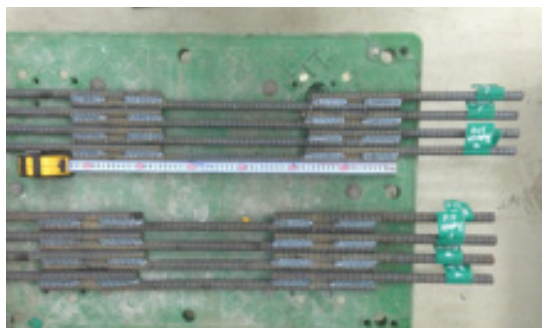


Fig. 5. Specimens



Fig. 6. Testing View

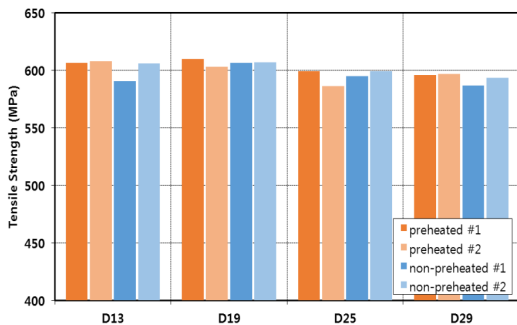


Fig. 7. Tensile Testing Results of Specimen

4. 인장실험

일반철근 용접 겹침이음 시험체를 Fig. 6과 같이 UTM(Universal Testing Machine)에 설치하고 인장실험은 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 7과 Table 4, Table 5에 나타내었다. 실험결과, 용접 겹침이음한 일반철근의 인장강도는 콘크리트구조기준에서 요구하고 있는 설계 기준항복강도(f_y)의 125% 즉, $f_{uactual} \geq 1.25f_y (=500\text{MPa})$ 를 모두 만족하였다.

우선, 일반철근 용접 겹침이음의 인장강도(Table 4의 ①)는 모재의 인장강도(Table 4의 ②)보다 대체적으로 다소 작게 나타났다. 이는 Table 5에 나타낸 시험체의 변형상태를 살펴보면 UTM에 의한 축방향 인장하중이 일직선상에 놓여있어도 시험체 자체의 비대칭성으로 용접이음부 양단이 구부러지는 등 편심에 의한 휨이 추가적으로 발생한다. 이 때문에 용접이음부 양 끝단이 매우 취약해진다. 그러나, 실제 RC구조물에서는 용접 겹침이음된 철근은 콘크리트에 묻혀 구속되기 때문에 Table 5와 같이 회전변형 또는 휨 변형이 발생하지 않고 실험결과 이상의 충분한 인장강도를 발휘할 것으로 사료된다. 한편, 국내 철근은 열처리를 통해 강도를 조절하며 제조되기 때문에 용접시 순간적으로 1000℃ 이상 가열한 후 공기중에서 서서히 냉각시키면 모재에 풀림(Annealing)

Table 4. Tensile Testing Results

No	Testing Model	Preheat Temperature	Tensile Strength(MPa, $f_{uactual}$) of Specimen(①)	Tensile Strength(MPa) of Rebar(②)
D13	Preheat-1	150	606.53 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	585.0
	Preheat-2	150	607.93 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
	Non-preheat-1	-	590.74 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	585.4
	Non-preheat-2	-	606.07 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
D19	Preheat-1	150	609.99 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	611.6
	Preheat-2	150	603.21 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
	Non-preheat-1	-	606.49 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	593.8
	Non-preheat-2	-	607.11 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
D25	Preheat-1	260	599.45 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	636.5
	Preheat-2	260	586.45 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
	Non-preheat-1	-	595.04 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	624.0
	Non-preheat-2	-	599.22 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
D29	Preheat-1	260	595.75 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	615.5
	Preheat-2	260	597.03 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	
	Non-preheat-1	-	586.95 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	613.3
	Non-preheat-2	-	593.37 \geq 500 ($f_y \times 125\%$)	

Table 5. Specimen Failures

No	Preheat	Non-Preheat
D13		
D19		
D25		
D29		

현상에 의한 강도저하가 발생할 수 있다. 따라서, 예열 및 용접열에 의해 용접부 인접 모재가 영향을 받았을 것으로 보이나, 이 점에 대해서는 추가적인 연구를 통해 규명할 필요가 있다.

예열 유무에 따른 인장강도에 대해, 일반철근을 예열한 후 용접한 것과 예열 등의 열처리하지 않은 것을 비교한 결과, 큰 차이를 보이지 않았다. 이에 따라 일반철근 용접이음시 예열이 불필요하다고 쉽게 단정 지을 수

Table 6. Chemical Components and Carbon Equivalent

No	Chemical Components						AWS D1.4		
	C	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ni	ASTM A615	ASTM A706
D13	0.30	0.52	0.16	0.001	0.03	0.25	0.11	0.387	0.414
D19	0.25	0.70	0.16	0.003	0.03	0.30	0.09	0.367	0.394
D25	0.28	0.55	0.12	0.002	0.03	0.25	0.11	0.372	0.395
D29	0.27	0.54	0.28	0.020	0.03	0.31	0.12	0.360	0.399

있는데, 본 논문에서는 실험시 사용한 일반철근을 대상으로 화학성분을 공인시험기관(한국건설생활환경시험연구원, KCL)에 의뢰하여 분석한 후 탄소당량(Ceq)을 확인하였다. 확인된 탄소당량은 Table 6에 정리하였다.

ASTM A615은 일반철근으로써 C와 Mn만으로 탄소당량을 산정한다. ASTM A615에 따른 최대 탄소당량은 D13 철근으로 0.387%이다. ASTM A706은 용접용 철근으로써, C, Mn, Cr, V, Mo, Cu, Ni 성분을 모두 이용하여 탄소당량을 산정하며 최대 0.55%이하로 제한하고 있다. ASTM A706에 따른 최대 탄소당량 또한 D13 철근으로 0.414%이다.

실험에 사용한 일반철근의 탄소당량을 AWS D1.4에 따라 산정한 결과, 최소 0.360%에서 최대 0.387%이다. AWS D1.4(Table 2)에 따르면, 탄소당량 0.40%이하에서는 D36 철근까지 예열이 불필요하며, 이를 초과하는 철근도 예열온도를 10℃로 규정하고 있다. 이에 따라 본 실험에서 예열유무에 따른 용접 겹침이음된 일반철근의 인장강도가 큰 차이를 보이지 않는 것으로 파악된다[6]. 그러나 국내 규격(KS D3504)에서는 SD600 철근을 제외한 일반철근에 대해서는 화학성분 및 탄소당량 제한규정이 없기 때문에, 탄소당량의 변동성이 매우 클 수 있다. Table 6에 나타난 철근의 화학성분은 본 실험에서 사용한 철근에 국한된 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 국내외 관련기준을 조사하여 일반철근에 대한 용접 겹침이음 모델(용접길이, 예열온도)를 수립하고, 건설현장에서 가장 많이 사용되는 SD400 일반철근을 대상으로 인장실험을 수행하였다. 그 결과, KS규격(KS B ISO 17660-1)에 제시된 최소용접길이(8d)로 겹침이음시 콘크리트구조기준에서 요구하는 인장강도(설계기준항복강도의 125%)를 확보하는 것을 확인하였다. 또한, 예열 유무가 실험결과에 큰 영향을 주지 않았으며,

이는 철근의 탄소당량이 낮았기 때문인 것으로 분석되었다. 국내 일반철근은 탄소당량에 대한 제한규정이 없기 때문에, 화학성분을 분석하여 적절한 예열온도를 선정하고, 탄소당량 확인이 어려운 경우 D19이하는 150℃, D22이상은 260℃로 예열해야 할 것이다.

일반철근에 대한 용접 겹침이음의 가능성을 실험을 통해 확인한 본 논문은 해외기준과 마찬가지로 국내기준에서도 일반철근에 대한 용접이음 일부 허용되거나 그에 대한 지침을 수립하는데 있어 중요한 기초자료로써 활용될 수 있을 것이며, 관련 연구의 나아갈 방향을 제시해줄 수 있을 것으로 기대한다. 향후, 강종별(SD500, SD600 등)로 용접길이, 예열온도 등을 매개변수로 추가적인 연구를 통해 일반철근의 용접 겹침이음 거동특성을 규명하고자 한다.

References

- [1] Korea Concrete Institute, Concrete Design Code and Commentary, 2012.
- [2] KS D3504, Steel Bars for Concrete Reinforcement, Korean Agency for Technology and Standards, Korea, 2016.
- [3] American Welding Society, AWS D1.4: Structural Welding Code - Reinforcing Steel, 2011.
- [4] KS B ISO 17660-1, Welding-Welding of Reinforcing Steel-Part1:Load-Bearing Welded Joints, Korean Agency for Technology and Standards, Korea, 2007.
- [5] K. S. Chun, Y. K. Ko, S. Y. Song and C. H. Kim "Evaluation of Lap Welded Joints Models of Rebars by Tensile Test", *Proc. of Korean Society Civil Engineer*, 2017.
- [6] M. G. Kim, S. C. Chun, H. J. Sim, K. S. Chun and J. H. Lee, "Strength Evaluation of Welded Lap Splices of 19 and 29mm Normal Reinforcing Steel Bars, *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 29, no. 5, pp. 505-513. 2017.

박 원 태(Won-Tae Park)

[정회원]



- 1983년 2월 : 부산대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 서울시립대학교 대학원 토목공학 (공학박사)
- 2005년 10월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 정교수

<관심분야>

구조공학, 복합재료, 좌굴 및 비선형 구조해석, 동적해석

천 경 식(Kyoung-Sik Chun)

[정회원]



- 2002년 2월 : 서울시립대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 서울시립대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 9월 ~ 2011년 11월 : (주)바우컨선탄트 기술연구소 차장
- 2011년 12월 ~ 현재 : (주)포스코건설 기술전략실 차장

<관심분야>

구조해석, 교량설계, 복합재료