

STS 310S용 스테인리스 플럭스코어드와이어 개발 Development of FCW for Type 310S Stainless Steel

최 기용*, 길 용*, 김 민철*

* 세아ESAB 용접기술연구소

1. 서 론

오스테나이트계 스테인리스용 용접재료중 플럭스 코어드 와이어(FCW)는 1980년대 이후 사용이 크게 증가해오고 있다¹⁻²⁾. 그 이유는 플럭스 코어드아크용접(FCAW)이 높은 용착효율을 보유하고 있어 이로 인해 가스 텅스텐 아크용접(GTAW) 및 피복 아크용접(SMAW)에 비해 생산성을 크게 향상시키기 때문이다. 오스테나이트계 스테인리스강중 STS 310S는 완전오스테나이트계(fully austenite) 스테인리스강으로서 열교환기, 연소실부품, 배기장치, 제트엔진 및 가스터빈 부품에 주로 사용된다. STS 310S의 고온부식 저항성은 오스테나이트계 스테인리스강중 가장 우수한 것으로 알려져 있다³⁾. STS 310S의 고온균열저항성은 STS 304나 STS 316L에 비해 열등한 것으로 알려져 있다⁴⁾. STS 310S에 대한 용접법은 국내에서는 주로 가스 텅스텐 아크용접(GTAW) 및 피복 아크용접(SMAW)이 사용되고 있으나 외국에서는 최근 일본을 중심으로 입열량이 높은 플럭스 코어드 아크용접(FCAW)을 적용되기 시작하였다. 국내에서도 최근에 생산성 향상을 위해 STS 310S용 FCW 개발의 필요성이 지속적으로 요구되어 왔으나 국산화 개발이 미진한 상태이다. 310S용 FCW 국산화 개발이 어려운 원인은 308L 및 316L 계열의 FCW에 비해 Ni 및 Cr 등의 합금원소가 상대적으로 높아 플럭스 중 합금원소 충전(充填)의 한계 및 높은 충전으로 인한 인발의 기술적 한계에 부딪히기 때문이다. 이러한 배경아래 오스테나이트계 스테인리스강중 고부가가치 제품인 STS 310S용 FCW를 국산화 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 용접재료 및 실험방법

본 연구에 적용한 용접재료의 전용착금속(Undiluted weld metal)의 화학성분을 Table 1에 나타내었다. 탄소함량이 높은 A-type과 탄소함량이 상대적으로 낮은 B-type으로 나누어 시험하였다. 와이어 경은 일반적으로 가장 많이 사용하는 1.2mm로 제작하였다.

Table 1 Chemical compositions of undiluted weld metal(wt%).

Type	C	Si	Mn	Cr	Ni
A	0.18	0.63	1.8	25.7	21.1
B	0.03	0.63	1.8	25.8	20.9

전용착금속의 시험편 및 기계시험편은 AWS A5.22의 규정에 따라 실시하였으며 용접전류는 160A 용접전압은 26V이며 사용가스는 100% CO₂를 사용하였다. 그 밖에 가스유량 15 l/min, CTWD 15~20mm 및 층간온도 198℃ 이하를 유지하였다. 비드의 형상을 관찰하기 위해 Bead on plate(BOP) 용접을 적용하였다. Table 2는 BOP 용접조건을 나타낸 것이며 입열량에 따라 저입열, 중입열 및 고입열로 나누어 비교하였다.

Table 2 Welding condition of bead on plate.

Heat Input	Current(A)	Voltage(V)	Speed(cpm)
Low	150	25	25
Middle	190	28	30
High	220	31	35

필릿용접은 Table 2의 Low 및 Middle과 동일한 조건으로 용접을 실시하였다. 필릿용접후 침투탐상시험(PT)을 통하여 균열발생 유무 및 균열길이를 측정하였고 이를 통하여 고온균열저항성을 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.1은 BOP 용접시 비드의 형상을 나타낸 사진이다. 저입열이나 중입열에서는 비드형상이 양호하나 고입열에서는 비드형상이 불만족함을 보여준다. 침투탐상시험을 실시한 결과 세가지 조건 모두 고온균열은 발생하지 않았다.

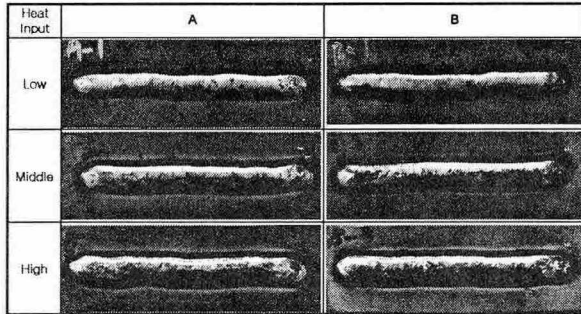


Fig.1 Bead shape on heat input for BOP test.

Fig.2는 저입열에서 필릿용접시 침투탐상시험 결과를 나타낸 사진이다. 탄소함량이 높은 A의 경우 필릿용접시 전면비드 및 구속응력이 크게 작용하는 이면비드 모두 고온균열은 발생하지 않았으나 탄소함량이 낮은 B의 경우 전면비드 및 이면비드 모두 고온균열이 발생하였다.

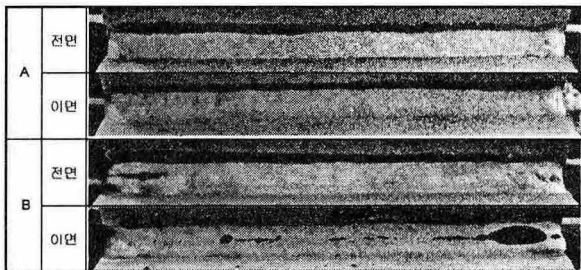


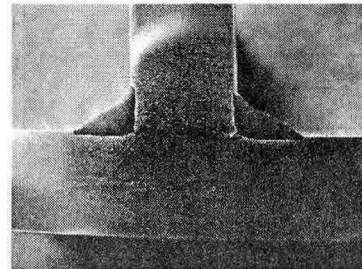
Fig.2 Bead shape of fillet welded joint.

Table 3은 입열량에 따른 고온균열 발생율을 정량화하여 나타낸 것이다. 여기서 고온균열 발생율(%)은 (균열길이/용접장)×100으로 정의하였다.

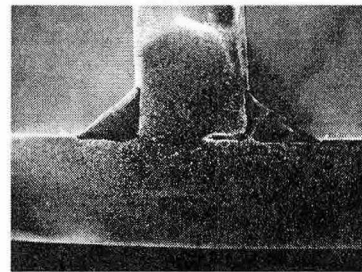
Table 3 Crack ratio of fillet welding.

Current (A)	Crack Ratio (%)			
	=(crack length/welding length)×100			
	A-type		B-type	
	전면	이면	전면	이면
150	0	0	8.0	50.2
200	3.4	41.6	9.1	72.7

Fig.3은 Fig.2의 시험편의 단면형상을 나타낸 사진이다. A의 경우 내부단면에서도 균열은 관찰되지 않으나 B의 경우 균열이 용접금속면(weld face)에서 weld root까지 연결되어 있음을 알 수 있다.



(a) A-type



(b) B-type

Fig.3 Cross section of fillet welded joint.

Fig.4는 AWS A5.22의 규정에 따라 용접한 전용착금속의 기계시험편을 침투탐상시험한 사진을 나타낸 것이다. A의 경우 고온균열은 발생하지 않았으나 탄소함량이 낮은 B의 경우 기계시험편 제작중 고온균열이 발생한 것을 볼 수 있다. Fig.4 (a)에서 시험편 A의 충격시험 및 인장시험 결과를 Table 4에 나타낸 것이다. 고온에서 사용하기 때문에 저온에서의 충격에너지는 기본적으로 요구되지 않으나 완전오스테나이트조직(fully austenite structure)인 STS 310S계 FCW의 저온충격에너지는 최소한 30J 이상 우수한 성능을 보유하고 있음을 보여준다. 인장강도 및 연신율은 AWS 규격을 만족하는 수준이다.

Table 4 Mechanical properties of 310S FCW.

Mechanical Properties		A-type	AWS Spec.
Absorbed Energy (J)	at RT℃	37~45	-
	at -50℃	36~42	-
	at -196℃	30~31	-
TS(Mpa)		616	Min 550
YS(Mpa)		470	-
Elongation (%)		34.3	Min 30

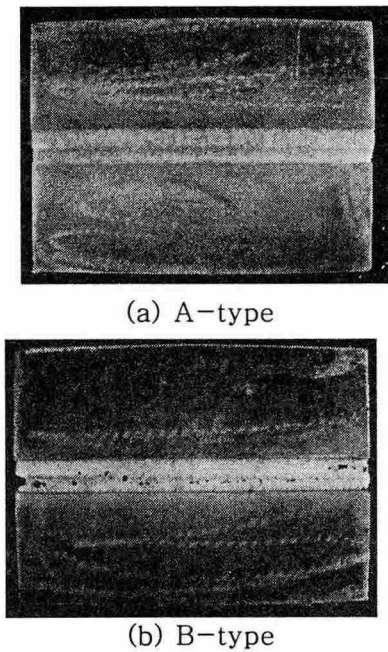


Fig.4 Specimen for mechanical properties.

Fig.5는 지금까지의 시험결과를 종합한 것으로서 STS 310S용으로 개발된 FCW의 용접전류 및 용접전압의 변화에 따른 적정용접범위를 나타내었다. 아래보기자세에서 적정용접조건은 일반적인 스테인리스용 FCW에 비해 낮은 전류인 200A 이하이며 220A 이상에서는 비드형상이 불만족 하였다.

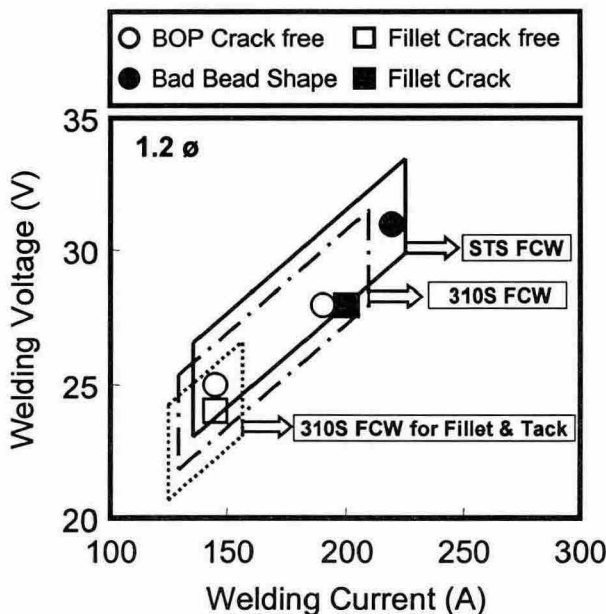


Fig. 5 Welding window of 310S FCW.

구속응력이 작용하는 필릿용접이나 가용접

(tack weld)에서의 적정용접조건은 150A 이하이며 이 조건에서 용접할 경우 고온균열을 방지할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구를 통하여 개발된 STS 310S용 FCW는 기존 STS FCW에 비해 적정용접조건이 낮아 생산성 저하가 조금이나마 우려된다. 그러나 기존에 사용중인 용접법인 SMAW나 GTAW에서 FCAW로 변경시 예상되는 높은 생산성 향상효과와는 비교할 수 없을 것이다. 개발된 STS 310S용 FCW는 시공중 엄격한 용접조건 및 입열의 관리가 요구된다.

탄소함량의 증가에 따른 고온균열저항성 향상은 탄소함량 증가에 따른 응고수축의 감소와 연관이 있는 것으로 판단되며 이와 관련하여 미세조직관찰 및 열분석시험 등의 부가적인 연구가 진행중에 있다.

4. 결 론

STS 310S용 스테인리스 플럭스코어드와이어 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) BOP 용접시 비드형상은 우수하였으며 고온균열은 발생하지 않았다.
- 2) 필릿용접시 전면 및 이면 모두 150A 이하에서는 고온균열이 발생하지 않았다.
- 3) 전용착금속의 인장성질은 AWS 규격을 만족하고 있었다.

참 고 문 헌

1. Y. Sakai : Kobe Steel Engineering Reports, 1985, 35-3
2. Y. Hara, J.C.M Farrar, W. Marshall, Z. Zhang : High Temperature Cracking and Properties of Stainless Steel Flux-Cored Welds and Effects of Bismuth, WRC Bulletin 460, 2001, 1-18
3. Jha, S., Sekellick, R.S., and Rubow, K.L. : Sintered Metal Hot Gas Filters, 1999, 492-501
4. 이종섭, 홍준용 : 오스테나이트계 스테인리스강 용접부의 고온균열, Vol. 17, No. 5, 대한용접학회지, 1999, 10-19