

후판 API-X80 강 조관 Seam SA 용접부 인성확보를 위한 적정 용접 입열량

Optimum Weld Heat Input in Seam SAW Joint of API-X80 Plate for High Impact Toughness

김충명, 이종봉
 ㈜포스코 기술연구소

1. 서 론

석유나 가스 등의 자원을 안정적으로 수송하기 위하여 사용하는 라인 파이프는 그 사용 환경에 따라서 다양한 소재 특성을 필요로 하며, 한랭지역에서 사용되는 경우에는 낮은 온도에서도 충분한 인성을 유지할 수 있는 높은 인성을 요구하고 있다. 후판 강재를 이용한 대구경 라인 파이프의 제조에 이용되는 용접 방법은 주로 SAW (Submerged Arc Welding; 잠호용접) 용접법을 적용하게 된다.

본 연구에서는 특히 저온인성 보증을 목적으로 개발된 API-X80급 후판 강재에 있어서, 고강도강을 사용한 대구경 강관의 조관에 적용되는 SAW 공정을 적용하는 경우 용접 열영향부에서도 충분한 저온 충격인성을 확보하기 위하여, 소재와 용접 입열량의 조합에 따른 용접 열영향부의 충격인성을 평가하고 각각의 변수들에 대한 상관성을 검토하여 X80급 라인 파이프용 강재의 적정 사용 조건 설정 방향에 대하여 고찰해 보고자 하였다.

2. SAW 용접조건

X80 강재를 사용한 라인파이프의 사용은 전 세계적으로 이제 시작 단계에 있는 만큼 X80급의 강도 수준에 상당하는 용접 재료는 아직 보편화된 제품이 많지 않은 실정이다. 특히 국내에서는 한 종류의 SAW 용접 재료가 이러한 강도와 충격인성을 만족시킬 수 있는 것으로 파악되었으며, 따라서 본 연구에서는 일단 국산 용접 재료의 적용을 전제로 하여 상기의 한 종류 용접 재료만을 적용하였다. 강관의 용접 열영향부 충격인성은 소재의 성분계와 함께 주로 용접 입열량에 의하여 결정되기 때문에 본 연구에는 용접 입

열량에 따른 용접 열영향부의 충격인성 변화를 평가하고 이를 바탕으로 소재 두께에 따른 적정 용접 입열량 범위를 설정하고자 하였다.

본 연구에 사용된 용접 재료의 품질 규격은 Table 1에 정리하였다. SAW 용접 공정의 적용 변수들은 2-pole SAW를 기준으로 적용하였으며, 용접 입열량의 변화는 입열량 산출식의 세 가지 변수들 중에서 주로 전류의 변화와 용접 속도의 변화를 가지고 그 크기 변화를 주었다. 대표적인 용접 조건을 Table 2에 정리하였다. X80 소재의 대표적인 화학 조성은 Table 3에 정리하였다. 대표적인 소재의 두께는 14 mm로 제조하였다.

Table 1 Welding consumables used

	Brand Name	Specifications		Diameter (mm)
		AWS	JIS	
Flux	S-777MXH	A 5.23	Z 3183	-
		F8A4-EA3-G	S-584H	
Wire	A-3	A 5.23 EA3	Z 3351 YS-M5	4.0

Table 2 Welding conditions used

side	Polarity		Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min.)	Heat input (kJ/cm)	Interpass temp. (°C)
In	L	DC	700	35	100	21.9	Max : 150
	T	AC	600	35			
Out	L	DC	670	38	106	25.7	
	T	AC	570	35			

Table 3 Chemical compositions of X80 plate

C	Si	Mn	P	S	Ni	Nb,Cu, Mo	Ceq
0.07	0.35	1.8	0.005	0.001	0.3	≤0.5	≤0.46

3. API-X80강 SAW 용접부 인성

용접 입열량이 열영향부 충격인성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 판재 두께 14 mm 를 가진 X80강에 대하여 적용한 용접 입열량은 약 23 kJ/cm ~ 33 kJ/cm 범위를 적용하였다. 최저 입열 조건은 14 mm의 판재 두께 전체를 내, 외면 두 번의 용접으로 이음부를 형성할 수 있는 최소의 입열량으로 하였으며 여기에서부터 입열량을 증가시키며 그 영향을 평가해 보았다. 용접부 충격인성 확보 목표는 60 joule 이상을 얻는 것으로 설정하였다.

Fig. 1은 입열량의 차이에 따른 용접부 충격인성 분포를 나타낸 것으로서, 그림 상의 각각의 데이터는 충격시험편 다섯 개에서 얻어진 값들의 평균치를 나타낸 것이다. 이 그림의 결과를 볼 때 두께 14 mm의 X80 강재에 대하여 목표로 하는 60 joule 이상을 안정적으로 얻을 수 있는 용접 입열량의 범위는 27 kJ/cm 이하로 제한하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 용접 입열량과 용접부 충격인성의 상관성은 그림의 회귀곡선을 나타내는 다음의 (1)식으로 나타낼 수 있다.

$$Toughness = 1172.71 - 70.8762(H.I.) + 1.11419(H.I.)^2 \quad (1)$$

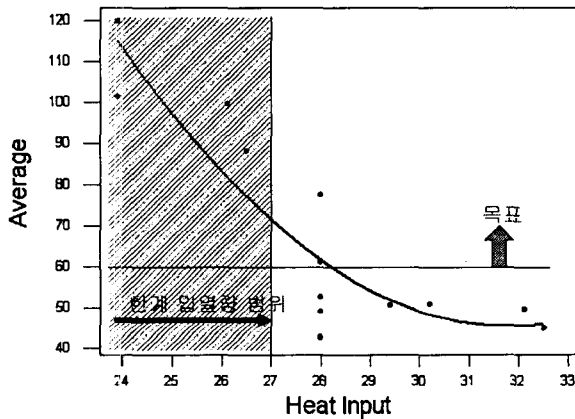


Fig. 1 Charpy V-notch impact toughness of weld joint of API-X80 in variation to welding heat input.

용접 입열량의 영향에 대한 이와 같은 평가를 바탕으로 설정한 표준 용접조건으로서 Table 2의 조건을 적용하여 용접부에 대한 종합적인 품질을 평가해 보았으며, 그 중에서 충격인성 평가 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 일반적으로 탄소강의 용접 이음부에서 가장 취약한 인성을 가지는

것으로 나타나는 fusion line에서의 충격인성을 보면, 평가온도 -20°C에서도 충격인성이 평균 150 joule 정도를 보이고 있으며, -40°C에서도 평균 82 joule 정도의 매우 우수한 인성을 확보할 수 있었다. 이처럼 우수한 용접부 인성은 소재의 화학 조성 및 제조조건으로부터 얻어지는 기지조직 자체의 높은 인성과 함께 열영향부 결정립 성장 억제 효과에 기인하는 것으로 판단된다. 이러한 용접 이음부에 있어서 인장강도 또한 Fig. 3에 나타난 바와 같이 X80급 강재에 요구되는 충분한 강도를 얻을 수 있었다.

Impact Toughness of SAW Joint of API-X80

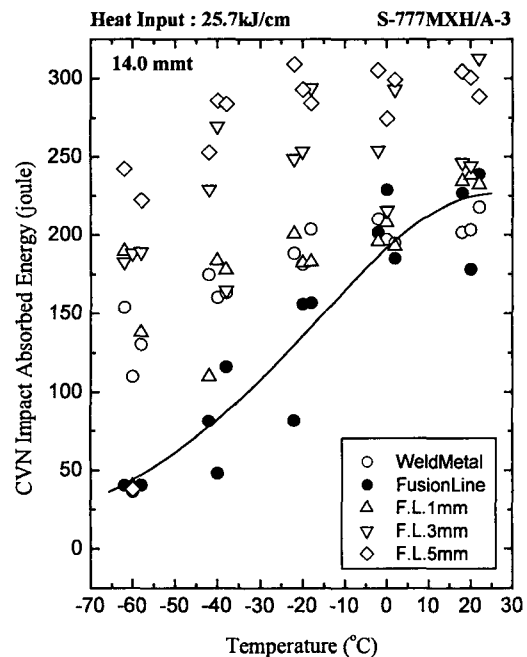


Fig. 2 Charpy V-notch impact toughness of weld joint of API-X80 at the heat input of 25.7kJ/cm.

Tensile Properties of SAW Joint of API-X80

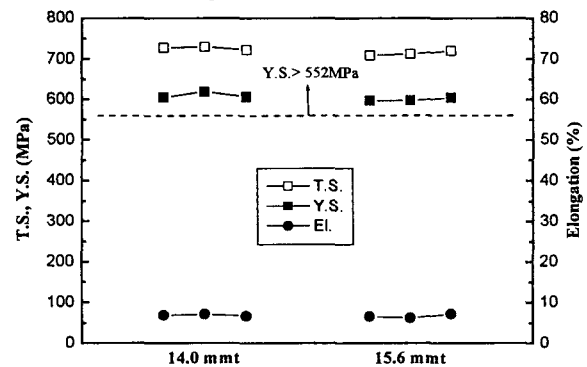


Fig. 3 Tensile properties of weld joint of API-X80.