

해양 구조물의 Carbon Steel Process piping용  
FC 용접부의 저온 충격인성에 관한 연구  
A Study on the Low Temperature Impact toughness  
of Flux Cored Arc Weldmetal in offshore Carbon Steel Process Piping.

지 춘호\*, 최 준태, 김 대순  
\* 현대중공업 산업기술연구소

ABSTRACT

The experimental simulation welds using 3kinds of 70ksi titania based flux-cored consumables were performed on 24 inches 24.6-thick API 5L Gr. B pipe with relatively high current, over 300A and four different Post Weld Heat Treatment(PWHT) conditions at 625°C were applied to each consumable test coupon.

It is well known that, in common welding processes such as Submerged Arc Welding(SAW) or Flux Cored Arc Welding(FCAW), the cooling rates in as-deposited weld bead are normally so rapid that actual precipitation of microalloy carbonitrides, Nb(C,N) or V(C,N) is not likely to occur in the as-welded weld metal, however, during stress relief or PWHT the operation of precipitation can reduce the impact properties of the weld metal.

As results of mechanical testing, it is concluded that PWHT at 625°C is detrimental to weld metal impact toughness of Ti-B type flux-cored (FC) welding consumables regardless of the amount of Nb and V, but two optima were exhibited, one at 800ppm Ti, 75ppm B and another 360ppm Ti, 54ppm B.

1. 서 론

해양 구조물 용접에 있어 FCAW 용접기법은 생산성과 작업성이 우수하여 여러 구조물 제작에 광범위하게 적용되고 있다.

한편,  $H_2S$ 를 포함하고 있는 Sour service 환경 하에서 작동되는 Carbon steel Process piping 용접의 경우 Surfide Stress Corrosion Cracking(SSCC)에 대한 저항성을 고려하여 용접부에 모재와 동일한 경도(Hv. 248 이하)와 화학조성(Ni 1% 미만)을 요구하고 있으며, 모재의 두께가 19mm를 초과할 경우 593~649°C에서 후열처리(PWHT)가 요구되는 것이 일반적이다.

지금까지 알려진 바에 의하면, 후열처리 후 충격인성을 지배하는 주요인자는 후열처리 후 석출되는 탄·질화물의 량으로 알려져 있으며, 용접재료의 제조과정에서 불순물 형태로 첨가되는 Nb와 V량을 최소화하기 위한 노력이 계속 되어왔다.

따라서, 본 연구는 3종류의 70ksi(480MPa)급 0.5% Ni 티타니아계 FC 용접재료에 대하여, 300A 이상의 고전류 용접조건으로 용접한 후, PWHT의 유지 시간 별 강도, 경도 및 충격치를 비교, 평가함으로써 후열처리 후 용접재료별 물성변화를 관찰하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 모재 및 용접재료

시험에 사용된 모재는 해양 구조물의 배관에 주로 사용되고 있는 API 5L Gr. B로 두께는 24.6mm이며, 화학조성 및 기계적 성질은 Table. 1과 같다.

시험용 용접재료는 70ksi(480MPa)급 티타니아계 FC 와이어로 AWS class 및 화학조성은 Table. 2와 같다.

Table. 1 Chemical composition and mechanical properties of base metal

	화학조성[wt. %]					Y.S [MPa]	T.S [MPa]
	C	Mn	P	S	Ceq		
Spec.	0.24	1.2	0.025	0.015	-	Min. 241	Min. 414
시험 모재	0.15	0.97	0.021	0.006	0.32	297	453

Table. 2 Chemical composition and mechanical properties of welding consumables

	AWS Class (*1)	화학조성[wt. %]					
		C	Mn	Si	P	S	Ni
A	E71T-12MJ	0.06	1.42	0.53	0.016	0.014	0.41
B	E71T-12J	0.04	1.19	0.24	0.012	0.010	0.46
C	E71T-12MJ	0.06	1.24	0.35	0.012	0.012	0.45

(\*1) M : Mixed shielding gas( Ar+ CO<sub>2</sub> )  
 J : -40℃ impact Av. 27J/single 20J

### 2.2 용 접

용접은 GTAW로 Root와 Hot 패스를, 그 외 나머지는 총 13패스로 Table. 3에 나타낸 것과 같이 300A 이상의 고전류 조건의 FCAW로 실시되었다.

Table. 3 FCAW Welding conditions

	전류 [A]	전압 [V]	속도 [cm/Min.]	입열 [kJ/cm]	층간 온도 [℃]
A	300~320	32~35	40.0~41.3	14.2~16.5	63~157
B	300~320	32~36	39.9~42.4	14.1~17.0	64~168
C	300~320	28~30	39.9~41.3	12.3~13.8	72~178

### 2.3 실험 내용

각 용접재료는 유지시간을 1시간, 3시간, 6시간으로 변화시키며 625℃에서 후열처리(PWHT) 하였으며, FC 용접부의 물성 비교 평가를 위하여, 열처리 조건별로 경도시험, 충격시험, 인장시험 및 화학분석을 실시한 후 용접부 미세조직을 관찰하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 인장시험

FC 용접부의 환봉인장 시험결과, Table. 4에서 알 수 있듯 Y.S 및 T.S는 A > B > C순으로 나타났으며, 시험 용접재료 모두 요구치인 최소 항복강도 400MPa와 최소 인장강도 480MPa를 만족하였다.

Table. 4 Results of tensile test

	항복강도[MPa]				인장강도[MPa]			
	AW	P1	P3	P6	AW	P1	P3	P6
A	616	539	547	526	663	631	637	611
B	551	508	522	498	599	579	608	576
C	507	474	468	462	566	555	552	551

\* Where, AW: As-welded, P1: PWHT 1 hour,  
 P3 : PWHT 3 hours, P6 : PWHT 6 hours

### 3.2 경도시험

FC 용접부의 열처리에 따른 경도분포를 확인하기 위하여 마크로 시편에 충격시편과 동일한 위치에서 1mm 간격으로 Hv 10kg으로 경도를 측정 한 결과 용접재료 A의 경우 기준치인 Hv 248을 만족시키지 못 하였으며, 용접재료 B와 C는 양호한 값을 얻을 수 있었다.

### 3.3 화학분석

Table. 5는 충격시편에서 화학분석을 실시한 결과를 나타내며, 탄소당량은 용접재료 A > C > B순으로 나타났다.

Table. 5 All weld metal chemical composition

	용접부 화학조성(wt.)							
	[%]					[ppm]		
	C	Mn	Ti	Nb +V/2	Ceq	B	O	N
A	0.08	1.38	0.074	0.009	0.35	59	490	27
B	0.06	1.23	0.080	0.021	0.31	75	546	45
C	0.08	1.24	0.036	0.014	0.32	54	438	35

### 3.4 용접부 충격인성

충격온도별 시험 결과는 아래 Fig. 1과 같다.

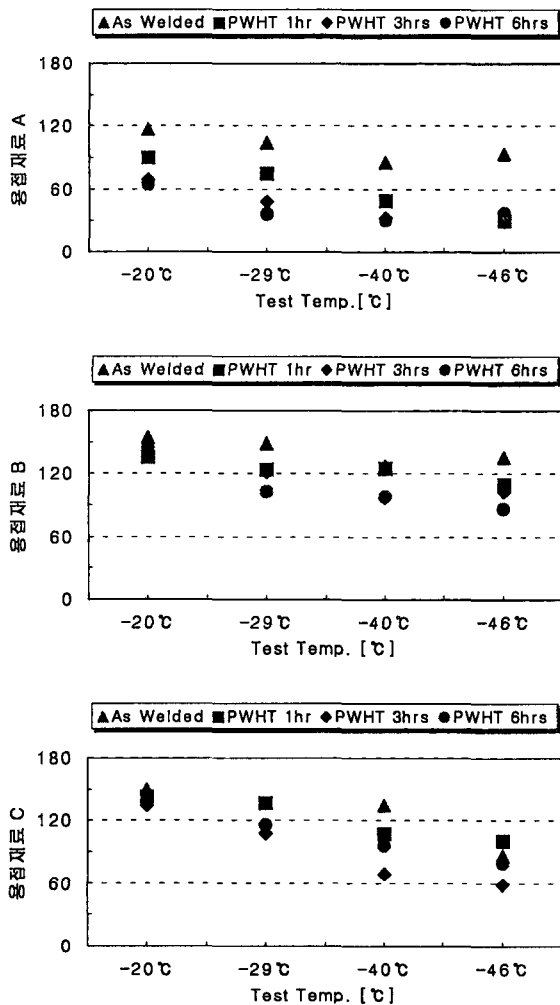


Fig. 1 Results of impact test

충격시험 결과 용접재료 A는 후열처리후 충격인성 저하가 현저하게 나타났으며, 용접재료 B의 경우 전 온도 구간에 걸쳐 만족스러운 결과를 얻었다. 반면, 용접재료 C의 경우 -29°C까지 물성저하를 보이지 않았으나, -40°C 이 후 점차 충격치 편차가 있었다.

### 4. 고 찰

일반적으로 항복 및 인장 강도는 탄소당량과 비례하는 것으로 나타나지만, 본 시험에 있어 용접재료 B가 C에 비해 탄소당량이 적음에도 불구하고 항복 및 인장 강도가 높게 나타나는데, 이는 화학조성 결과에서 알 수 있듯이 용접재료 B가 용접재료 C에 비해 Ti 함량이 높기 때문인 것으로 보여진다.

625°C 후열처리 후 용접재료 A는 As welded 상태

에 비해 물성저하가 심하게 나타나는데, Fig. 2에서 볼 수 있듯 용접 비이드 직하의 재가열 조직에서 brittle한 조직이 발달하여 열처리 후 충격인성에 악 영향을 미치는 것으로 판단된다.

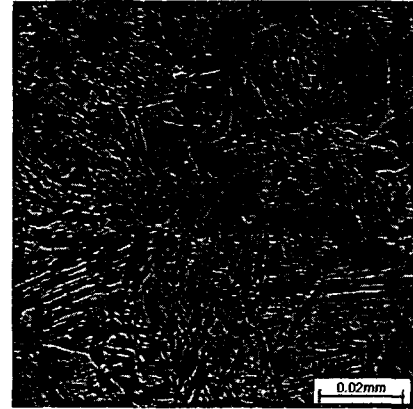


Fig. 2 Microstructure of high temperature reheated zone in the weld-deposit of "A"

### 5. 결 론

본 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 시험에 사용된 티타니아계 FC 용접재료는 후열처리 후 충격인성과 Nb+V/2의 량과의 상관 관계는 없는 것으로 나타났으며, 용접부 미세조직이 후열처리 후 충격인성을 좌우하는 것으로 판단된다.
- (2) 미세조직 관찰 결과 최적의 용접부 미세조직을 얻을 수 있는 Ti-B의 조성은 800ppm Ti, 75ppm B 과 360ppm Ti, 54ppm B으로 나타났다.

### 6. 참고 문헌

- (1) C. H. Entrekin, JR. "Effect of stress relief on microalloyed weld metal impact properties." - AWS welding journal 1983. 8. 197s~203s
- (2) G. M. Evans "The effect of stress relieving on the microstructure and properties of C-Mn all-weld metal deposits." - AWS welding journal 1986. 12. 326s~334s
- (3) G. M. Evans "The effect of titanium in SMA C-Mn steel multipass deposits" - AWS welding journal 1992. 12. 447s~454s
- (4) G. M. Evans "The effect of titanium in manganese-containing SMA weld deposits" - AWS welding journal 1993. 3. 123s~133s