

## FCAW 용착금속의 기계적 성질에 미치는 Ni 함량의 영향

### Effect of Ni content on mechanical properties of deposited weld metal by FCAW

남 성길, 장 태원, 윤 동렬, 한 정석, 선 해선\*

\* 삼성중공업 생산기술연구소 용접연구

**ABSTRACT** 대형구조물 제작 시에는 세라믹백킹재 등 백킹재를 이용한 편면용접법이 많이 채용되고 있다. 이처럼 백가우징이 적용되지 않는 편면용접법으로 용접 시공 시, 표면부에 비해 루트부의 충격성능이 열화되는 경향이 있다. 본 연구에서는 세라믹백킹재를 채용한 편면용접법의 루트부의 저온 충격성능을 확보할 수 있는 용착금속의 Ni 함량에 대해 고찰하고자 한다.

### 1. 서 론

용접구조물이 대형화 되고 구조물 내에 내부 보강재가 많아질수록 이면 가우징이 곤란하게 되어 백킹재를 이용한 편면용접법 채용이 확대되게 된다. 하지만 편면 FCAW 시에는 루트부의 냉각 속도 및 외부 대기와의 접촉에 의한 산소, 질소의 혼입량이 많아져 루트부의 충격성능이 표면부에 비해 상당히 열화된다. 실제  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$ 의 저온 충격성능이 요구되는 경우에는 루트부의 충격성능 확보를 위해 약 1.5 wt% Ni이 합금 원소로 첨가된 FCW 용접재료가 적용되고 있다.

본 연구에서는 편면용접법 적용 시, 현업 용접 조건에서의 루트부 저온 충격성능을 확보할 수 있는 용착금속의 적정 Ni 함량에 대해 고찰하고자 한다.

### 2. 시험 방법

시판되고 있는 AWS A5.20 E71T-1 용접재료를 기본으로 하여 용착금속의 Ni 함량을 0~1.79 wt%로 변화시킨 용접재료를 제작하고, 현업 용접조건에 따라 용접을 수행하여 용접부의 기계적 성질을 시험하였다.

#### 2.1 시험용 모재

조선용 EH40 강재가 사용되었으며 그 화학성분치 및 기계적 성질은 아래 <표 1>과 같다.

<표 1> 시험용 모재의 화학조성 및 기계적 성질

화학조성(wt%)					기계적 성질(N/mm <sup>2</sup> , %)		
C	Si	Mn	P	S	인장	항복	연신율
0.11	0.36	1.48	0.013	0.004	574	471	25

#### 2.2 시험용 용접재료

시판되는 AWS A5.20 E71T-1 용접재료에 용착금속의 Ni 함량이 1.79 wt%까지 조절될 수 있도록 플러스의 제원을 변경하여 총 10 종류의 용접재료로 시험하였으며, 기본이 되는 용접재료의 용착금속 화학조성은 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 기본 용접재료의 용착금속 화학조성(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	O
0.047	0.468	1.372	0.006	0.010	0.027	0.025	0.003	0.062

#### 2.3 용접 조건

경험상 충격성능이 가장 열화되는 아래보기 자세로 용접을 실시하였으며, 비드폭은 25mm로 제한하였다.

##### 2.3.1 개선형상

개선형상은 개선각  $40^{\circ}$ 의 Single Vee Groove로 하였으며, 백킹재는 편면용접법에 통상 적용되는 세라믹 타입의 백킹재를 적용하였다. 개선형상 상세는 아래 <그림 1>과 같다.

2.3.2 용접조건 상세

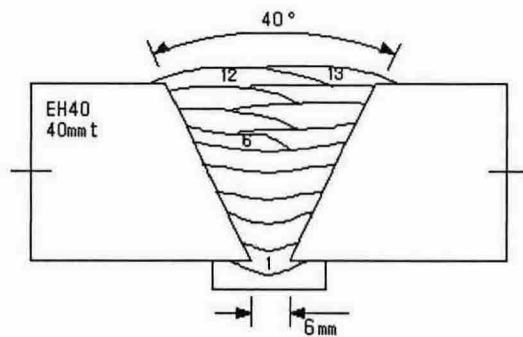
시험에 적용된 용접조건은 당사 현업에 적용되고 있는 조건을 적용하였으며, 그 상세는 아래 <표 3>과 같다.

<표 3> 용접조건 상세

용접자세	아래보기(1G)	비고
비드폭(mm)	최대 25	5번째 패스에서 약 25mm 비드폭이 관찰되었으며, 최종 2 패스도 약 25mm 비드폭으로 용접되었다.
용접전류(A)	230~415	
용접전압(V)	29~40	
입열량(kJ/mm)	2.2~5.0	
예열온도(°C)	미적용	
층간온도(°C)	최대 250	

2.3.3 적층 순서

상기와 같은 용접조건으로 9 층, 13 패스로 용접이 완료되었으며, 용접 적층 순서는 아래 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 개선형상 및 적층 순서

2.4 시험 항목 및 시험 방법

용접재료의 비파괴 성능을 파악하기 위해 UT와 MT를 실시하였으며, Ni 함량이 용접금속의 물리적 성질에 미치는 영향을 파악하기 위해 전용착금속 인장시험, 용접부 경도시험 및 저온 충격시험을 실시하였다.

2.4.1 비파괴시험

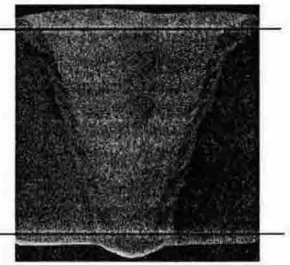
AWS D1.1의 시험 방법에 준해 시험되었으며, 시험 결과는 ISO5817, Quality Level B에 따라 판정되었다.

2.4.2 전용착금속 인장시험

상기와 같이 용접된 시편의 두께 방향 표면부에서 전용착금속 인장시험편을 채취하여, ASTM E 8에 따라 인장시험을 실시하였다.

2.4.3 경도시험

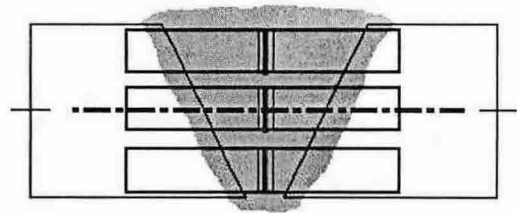
우측 <그림 2>와 같이 모재 표면으로부터 2mm 떨어진 위치에서 표면부는 2mm 간격으로, 루트부는 1mm 간격으로 ASTM E 92에 따라 경도시험(HV10kgf)을 실시하였다.



<그림 2> 경도시험 위치

2.4.4 저온 충격시험

용착금속의 Ni 함량에 따른 충격성능을 파악하기 위해 아래 <그림 3>과 같이 표면부, 중앙부, 루트부에서 충격시험편을 채취하여 0°C, -20°C, -40°C에서 ASTM E 23에 따라 충격시험을 실시하였다.



표면부 및 루트부 충격시험편은 모재 표면으로부터 각각 2mm 제거 후 채취함

<그림 3> 충격시험편 위치

2.4.5 용접부 미세 조직

용착금속의 Ni 함량에 따른 용접부의 미세 조직 변화가 용접부의 기계적 성질에 미치는 영향을 검토하고자 용접부의 미세 조직을 관찰했다.

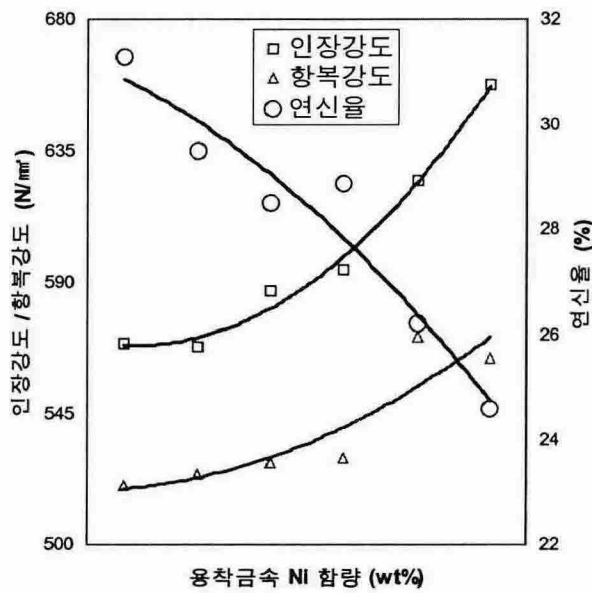
3. 시험 결과

3.1 비파괴시험 결과

시험되어진 10개의 용접시편 모두 결함이 전혀 없는 양호한 결과를 나타내었다.

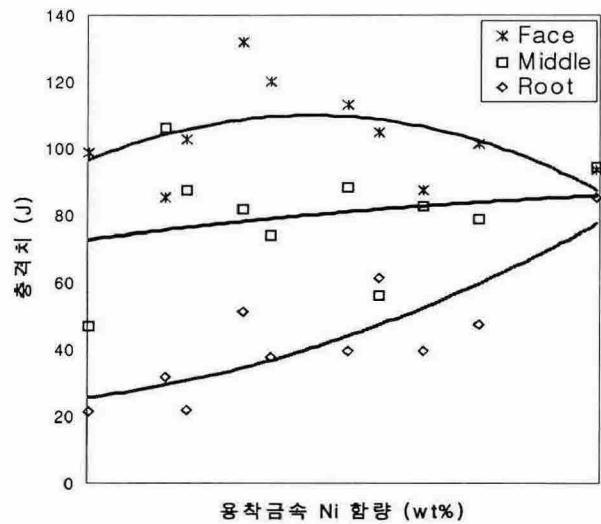
3.2 전용착금속 인장시험 결과

용착금속의 Ni 함량이 증가함에 따라 인장강도 및 항복강도는 선형적으로 증가되는 경향을 나타냈으며, 반면에 용접금속의 연신율은 선형적으로 감소하였다. 전용착금속의 강도 및 연신율의 변화 경향은 아래 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 전용착금속 인장시험 결과

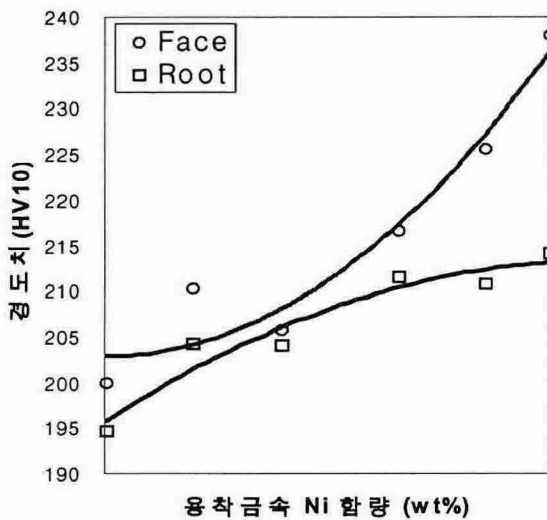
차 감소되는 결과를 나타내었다. -20℃에서의 충격시험 결과는 아래 <그림 6>과 같다.



<그림 6> -20℃에서의 충격시험 결과

### 3.3 경도시험 결과

용접금속의 경도치 역시 용착금속의 Ni 함량 증가에 따라 선형적으로 증가되는 경향을 보였고, 표면부의 경도치 증가폭이 루트부에 비해 상대적으로 높았다. 용접부의 경도치 증가 경향은 아래 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 용접부 경도시험 결과

### 3.4 저온 충격시험 결과

-20℃ 충격시험 결과 루트부의 충격치는 용착금속의 Ni 함량 증가 따라 점진적으로 향상되었으나, 표면부의 충격치는 0.6 wt% Ni 함량에서 최고값을 나타낸 후 Ni 함량 증가에 따라 점

## 4. 결 론

용착금속의 Ni 함량이 용접부의 기계적 성질에 미치는 영향을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Ni 함량이 증가할수록 용접부의 강도, 경도는 점진적으로 증가되었고, 연신율은 점진적으로 감소되었다. Ni 함량이 0.6 wt% 이상일 때 Ni 첨가에 의한 강도 증가 효과가 본격적으로 나타나고, 루트부에 비해 표면부의 강도 증가 효과가 큰 것으로 판단된다. 이는 냉각속도와 적층에 의한 Ni의 회수율과 관련 있는 것으로 판단된다.

2) 루트부의 충격성능은 Ni 함량이 증가할수록 향상되었으나, 표면부의 충격성능은 용착금속의 Ni 함량 0.6 wt%를 정점으로 점차 감소되었다. 이는 용착금속의 합금 성분치 증가에 따른 용접부의 강도, 경도 증가에 기인된 것으로 판단된다.

3) 시험되어진 용접재료의 경우에 선급의 충격요구치(47J)를 만족시키기 위해서는 -20℃ 충격요구 시에는 1.0 wt% 이상의 Ni이, -40℃ 충격요구 시에는 1.5 wt% 이상의 Ni이 용착금속에 첨가되어야 할 것으로 판단된다.

4) 저온인성 향상을 목적으로 용착금속에 Ni를 첨가할 경우에는, Ni 첨가에 의한 강도 증가에 상응할 수 있도록, Si, Mn 등 합금원소의 양을 감소시키면 좀 더 양호한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단한다.