

技術報告

大韓 熔接學會誌
第2卷 第2號 1984年 12月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 2, No. 2, Dec., 1984

일미나이트계 피복아아크 용접봉의 기초적 연구

—일미나이트계 피복아아크 용접봉의 열기도가 화학성분 및 기계적 성질에 미치는 영향—

권 영 수* · 손 병 영*

Fundamental Study of Ilmenite Type Coated Arc Welding Electrode

—Effect of the variation of the basicity in ilmenite type coated arc welding electrode on the chemical composition and mechanical properties—

by

Y. S. Kwon* · B. Y. Son*

1. 서 론

피복아아크 용접봉(이하 용접봉이라 함)의 피복제는 열기도에 따라 산성, 중성, 염기성으로 대별할 수 있다. 용접에서의 화학아금반응은 제강의 화학아금반응과 원리는 비슷하나 양자간 크게 다른점은 용접시의 반응 시간이 극히 짧다는 점이다. 이와같이 반응 시간이 짧다는 점 이외에도 작업자가 직접 용융반응을 지켜 보면서 반응후에 나타나는 제반 문제점에 대비하여야 하는 어려운 점이 있다. 제강반응은 전문가만의 독특한 기술인 반면 용접은 용접봉 제조자 뿐만 아니라, 용접 작업자 고유의 기술이므로 용접아금반응을 상식화 하고자 하는데 본고는 의의를 두고 있다. 피복제 중에서의 열기도의 변화, 즉 열기도에 영향을 크게 미치는 탄산칼슘의 양을 임의로 변화시키므로써 다음과 같은 현상을 기대할 수 있다. (1) 용접 작업성의 변화 (2) 용착 금속의 화학성분 변화 (3) 용착금속의 조직 변화 (4) 용착 금속내의 수소 함유량 변화 (5) 용착금속의 기계적 성질변화 등이다.

2. 실험

2.1 실험재료

피복제의 열기도 변화에 대한 실험에 사용된 재료는 다음과 같다.

- 1) 용접봉 : 일미나이트계 피복아아크 용접봉 (KSE43 0·1)
- 2) 용접봉의 치수 : 4.0 $\phi(mm)$ \times 400L(mm)
- 3) 피복율 : 약 26% $\left(\frac{\text{용접봉 무게} - \text{실선 무게}}{\text{용접봉 무게}} \times 100 \right)$
- 4) 용접봉의 종류 (피복제 중 CaCO₃ 함량이 다른 6 종류) : 표 1과 같다.

표 1. 용접봉의 종류

용접봉의구분	피복제 중 CaCO ₃ 의 함량(%)	열기도(B)
A	5	0.09
B	10	0.18
C	15	0.26
D	20	0.35
E	25	0.44
F	30	0.53

* 조선선재 주식회사, 정희원

$$\text{염기도(B)} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

5) 심 선

시험의 오차를 줄이기 위하여 사용한 심선은 동일한 heat no의 것을 사용하고, 사용 피복재 역시 동일 lot no의 것으로 용접봉을 제조하였다. 사용한 심선의 화학성분은 표 2와 같다.

표 2. 심선의 화학성분(Wt, %)

C	Si	Mn	P	S
0.0736	tr	0.4079	0.0143	0.0139
Ni	Cu	Al	Sn	
0.003	0.0266	0.0022	0.0240	

2.2 작업성 시험

1) 용접조건

용접자세 : 하향 및 입향 필렛용접

용접전류(Amp.) :

하향 필렛 : 170Amp(AC)

입향 필렛 : 140Amp(AC)

2.3 화학성분 시험

분석시편 제작조건은 AWS 5.1-81의 13.3의 화학성분 시편 제작요령에 의거 각 패스마다 용접직후 냉수에서 30초 가량 냉각 후 연속 용접하여 제작하였다.²⁾

용접자세 : 하향

용접전류 : 170Amp.

전류종류 : A. C

용접층수 : 15층

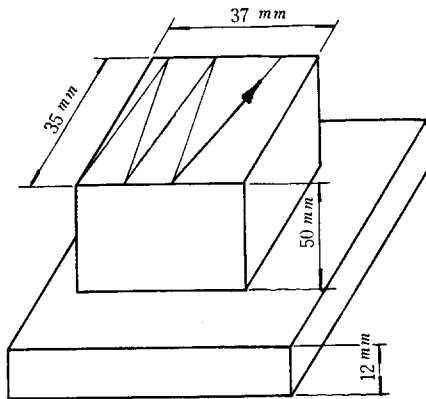


그림 1. 화학분석 시편편의 치수

운 붓 비 : 2~3mm/sec

모재재질 : SS 41

모재두께 : 12mm

화학성분 시편의 치수는 그림 1과 같다.

2.4 금속조직 시험

시험편 제작조건은 분석시편 제작과 동일하게 하였다.

2.5 수소 함유량 시험

JIS Z 3113-75에 따른 글리세린 치환법에 의하였다.³⁾

2.6 기계적 성질 시험

1) 시편 제작조건

시험은 JIS Z 3211-1978에 준하였다.³⁾

용접자세 : 하향

용접전류 : 170Amp.

전류종류 : A. C

아아크 시간 : 1분 27초

소모봉 길이 : 370mm

비이드 길이 : 320mm

층간온도 (°C) : 110~135

모재재질 : SS 41

용접층 수 및 시험편의 치수는 그림 2와 같다.

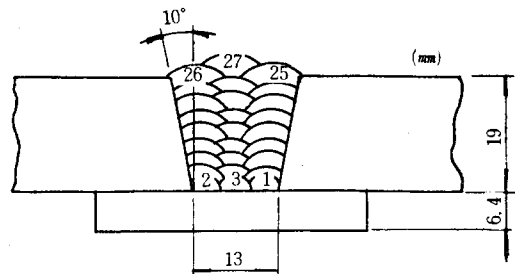


그림 2. 용접 시험편의 치수 및 용접층 수

3. 시험 결과

3.1 작업성의 변화

1) 염기도, 즉 피복재 중의 CaCO₃가 높을수록 슬래

일미나이트계 피복아아크 용접봉의 기초적 연구

그 표면 색상은 옅은 검정색에서 짙은 검정색으로 변하며 슬래그 이면 및 표면은 열기도가 높을수록 탄산칼슘이 분해 즉, $\text{CaCO}_3 \xrightarrow[825^\circ\text{C}]{\text{분해}} \text{CaO} + \text{CO}_2$ 로 되어 CO_2 에 의한 기공이 점차 많아지는 것을 알 수 있었다.

2) CaCO_3 의 용융점은 1580°C 로 일미나이트계 피복제 중 다른 피복제에 비하여 용융점이 가장 높다. 그러므로 피복제 중 CaCO_3 의 함량이 높을수록 슬래그의 응고가 빨라지므로 상대적으로 슬래그의 유동성이 좋지 않은 것을 알 수 있었다. 3) 사진 1, 사진 2, 사진 3은 하향용접, 입향용접, 수평필렛용접에서의 비이드 모양을 나타낸 것이다. 사진 1의 하향용접에서는 열기도가 높을수록 슬래그의 유동성이 좋지 않아 비이드의 파형이 점차 거칠어짐을 알 수 있었고, 사진 2의 입향용접에서는 열기도가 높을수록 슬래그의 응고가 빨라져서

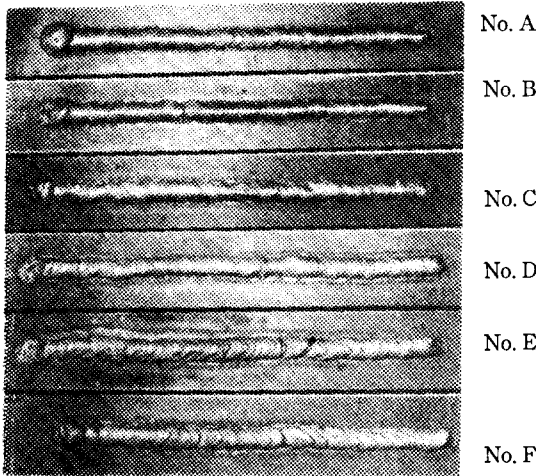


사진 1, 하향용접의 비이드 모양

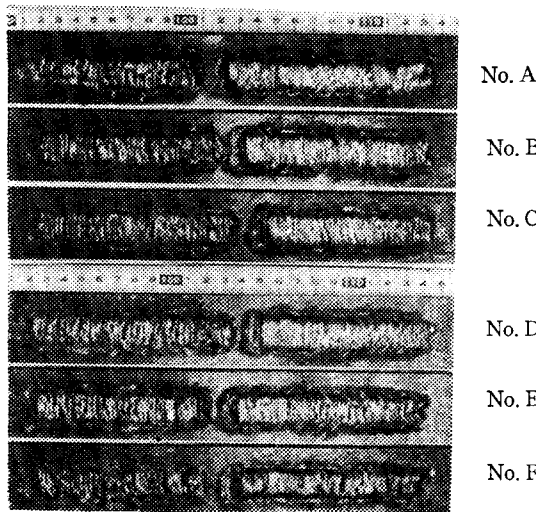


사진 2, 입향용접의 비이드 모양

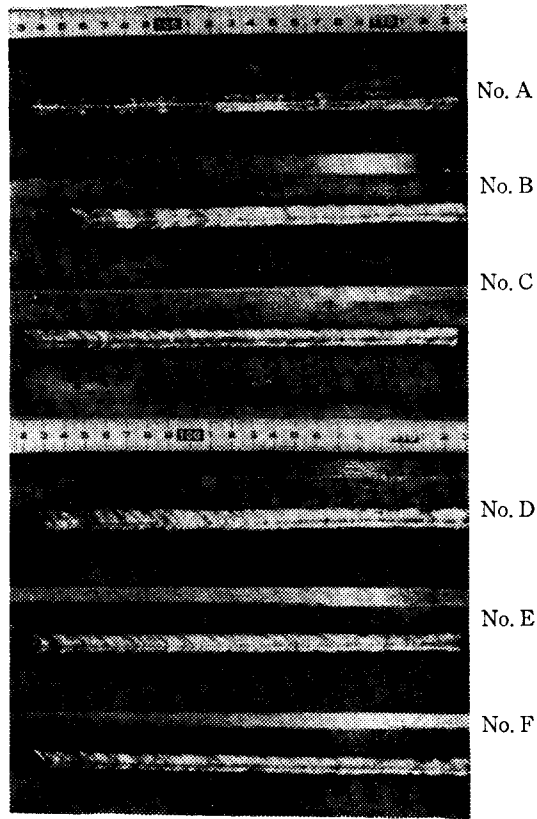


사진 3. 수평필렛용접의 비이드 모양

비이드의 파형이 부드러워짐을 알 수 있었다. 사진 3의 수평필렛용접에서도 하향용접과 마찬가지로 슬래그의 유동성이 비이드 모양을 결정해 주기 때문에 열기도가 높아질수록 비이드 파형이 거칠고 이단성 비이드가 됨을 알 수 있었다.

3.2 화학성분의 변화

피복제의 열기도가 높아질수록 용착금속 중의 C, Mn, Si, P의 함량은 표 3에서의와 같이 떨어지고 있다.

표 3. 용착금속 중의 화학성분(wt, %)

구성	성분					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
No. A	0.0775	0.1764	0.4582	0.0211	0.0102	0.0125
No. B	0.0783	0.0976	0.4445	0.0208	0.0088	0.0118
No. C	0.0646	0.0857	0.4350	0.0191	0.0103	0.0121
No. D	0.0645	0.0691	0.4294	0.0202	0.0104	0.0116
No. E	0.0654	0.0504	0.4187	0.0182	0.0110	0.0121
No. F	0.0634	0.0394	0.4057	0.0172	0.0103	0.0119

화학성분의 변화는 다음의 1), 2), 3), 4), 5)에 의하여 설명될 수 있다.

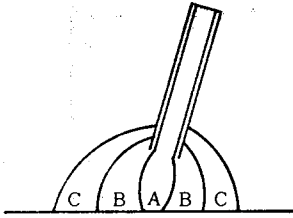


그림 3. 아아크 분위기

가 재결합하거나 직접 고온분해에 의하여 생기는 가스 영역이며, C는 공기에 의하여 희석된 부분을 나타낸 것이다.

1) C의 반응

$C + O \rightarrow CO$, $CaCO_3 \xrightarrow[825^\circ C]{\text{분해}} CaO + CO_2 (CO + O)$ 로 되어 용융지에서 탄소가 CaO나 O와 결합하여 C가 낮아지는 것으로 생각된다.

2) Si의 반응

① Si 반응은 CaO가 많아질수록 SiO_2 와 쉽게 결합하여 슬래그로 된다. 따라서 용융지 중의 Si의 분율이 낮아져 용착금속의 Si가 점차 낮아진다고 생각된다.

② 그림 4에서 보여주는 바와 같이 $CaCO_3$ 의 분해에 의하여 발생된 O에 의하여 Si는 산화 제거된다.

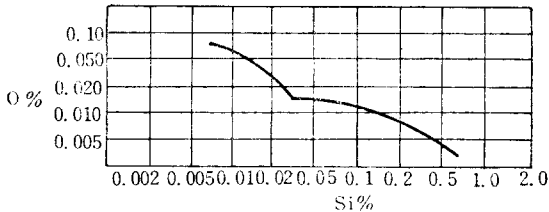


그림 4. 1600°C에서 Si%와 O%의 관계

3) 강탈산제 Si가 존재하며 C가 높을때 Mn의 회수율은 올라가지만 저 Si, 저 C일 때 Mn은 MnO로 슬래그화 한다. 위의 1), 2)에서와 같이 열기도가 높을수록 Si, C가 낮아짐으로 Mn 역시 MnO로 슬래그화 하여 용착금속 중의 Mn은 떨어진다.

표 4. 열기도에 따른 기계적 성질의 변화

구분	성질	Y.P (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	EL (%)	RA (%)	Charpy I.V(kg-m)
A		43.5	50.2	26.0	46.2	7.6, 7.0, 7.6 avg. 7.40(0°C)
						7.7, 7.3, 6.1 avg. 7.03(-10°C)
						7.6, 7.1, 4.9 avg. 6.53(-20°C)
B		42.8	49.3	29.4	50.9	7.7, 7.6, 7.7 avg. 7.67(0°C)
						7.9, 8.1, 6.3 avg. 7.43(-10°C)
						5.7, 5.2, 7.6 avg. 6.16(-20°C)

그림 3은 아아크 분위기를 나타낸 것이다. 그림에서 A는 아아크열에 의하여 각 성분의 70~90%가 원자상 혹은 이온상으로 해리하고 있는 부분이다. B는 가스

4) P의 반응 (그림 5 참조)

탈인은 FeO 슬래그만으로는 충분히 기대할 수 없으며, CaO의 존재에 의하여 비로서 강력하게 진행할 수 있다.

CaO가 존재할 때 P의 형태는 $2P + 3(CaO) + 5FeO = (CaO)_3P_2O_5 + 5Fe$ 로 된다. 이와같이 열기도, 즉 $CaCO_3$ 가 많아질수록 용착금속 중의 P는 낮아진다는 것을 쉽게 짐작할 수 있다.

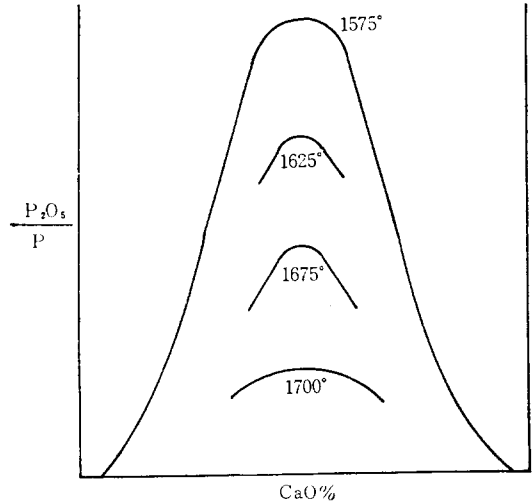


그림 5. (CaO)%와 $\frac{P_2O_5}{P}$ 와의 관계

5) S의 반응

S는 피복제 중의 $CaCO_3$ 가 변화 하여도 거의 변동이 없다. 그 이유는, ① S를 제거하려면 강열기성 강환원성이어야 하며, 야금반응 시간이 높고 길어야 하기 때문에 용접 야금반응으로서는 기대하기 어렵다. ② CaO에 의하여는 S보다는 P의 제거가 용이하다.

3.3 기계적 성질의 변화

기계적 성질의 변화는 표 4와 같다.

C	42.7	49.0	24.8	45.1	8.0, 6.2, 7.4 avg. 7.20(0°C) 7.4, 5.8, 6.0 avg. 6.40(-10°C) 2.9, 5.1, 5.4 avg. 4.47(-20°C)
D	43.0	50.1	29.2	55.1	6.4, 6.0, 7.0 avg. 6.47(0°C) 4.8, 3.2, 4.4 avg. 4.13(-10°C) 2.9, 4.1, 5.2 avg. 4.17(-20°C)
E	40.5	47.8	27.6	50.7	3.6, 7.1, 7.0 avg. 5.90(0°C) 5.4, 6.5, 6.1 avg. 6.00(-10°C) 3.3, 4.3, 3.8 avg. 3.80(-20°C)
F	41.1	47.5	32.6	60.1	7.0, 3.3, 6.5 avg. 5.60(0°C) 3.4, 4.4, 5.4 avg. 4.40(-10°C) 5.1, 5.9, 6.2 avg. 5.73(-20°C)

표 4에서 보는 바와 같이 유추할 수 있겠지만 인장강도는 열기도가 높을수록 낮아지는 경향을 보이고 있다 이것은 용착금속 중 화학성분의 변화에서도 예측할 수 있었다.

3.4 화학성분과 충격치의 관계

그림 6, 7에서 보는 바와 같이 열기도가 높을수록 충격치는 낮아지며 충격시험 온도에 따른 충격치도 상식(충격시험 온도가 낮을수록 낮은 값이 나온다)을 벗어나고 있다.

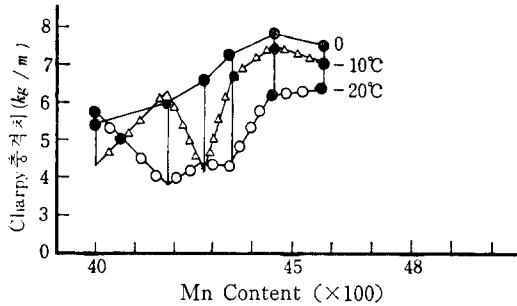


그림 6. 용착금속 중의 Mn 함유량과 충격치의 관계

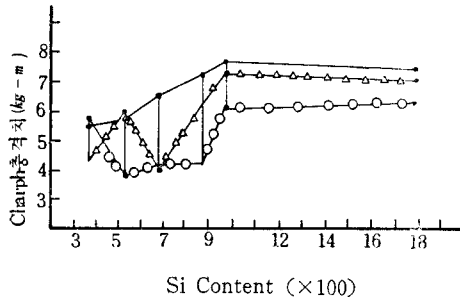
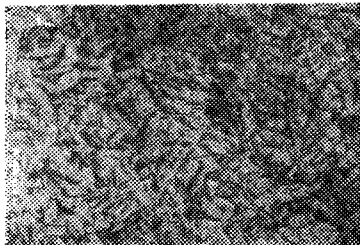


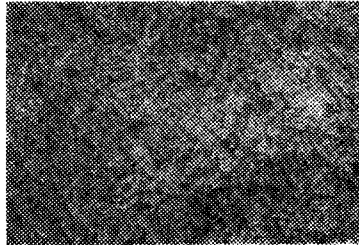
그림 7. 용착금속 중의 Si 함유량과 충격치의 관계

3.5 금속조직의 변화

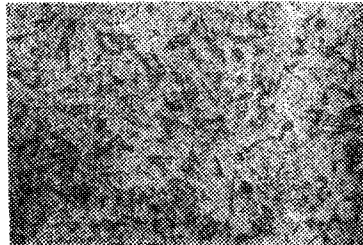
화학성분 비교표에서 나타났듯이 열기도가 높을수록 C, Si, Mn, P가 떨어지는 경향을 보이고 있으며 이에 따라 용착금속 중의 비금속 개재물인 산화물(검은색)이 증가함을 알 수 있다. 또 pearlite양은 감소하면서 조직이 조대하여 짐을 알 수 있다. 이러한 변화가 기계적 성질에 미치는 영향으로는 인장강도 및 충격치의 저하가 있다.



No. A



No. B



No. C

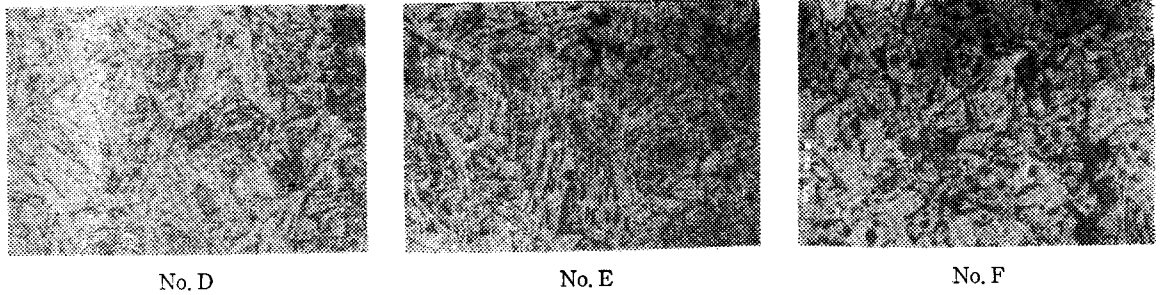


사진 4. 용착금속의 현미경 조직 (× 400)

3.6 확산성 수소 함유량의 변화⁵⁾

용착금속 중의 확산성 수소 함유량은 표 5 및 그림 6과 같다.

표 5. 용착금속 중의 수소함유량

구 분	A	B	C	D	E	F
확산성 수소 함유량 (cc/100gr)	34.56	27.51	32.87	24.72	24.98	20.18

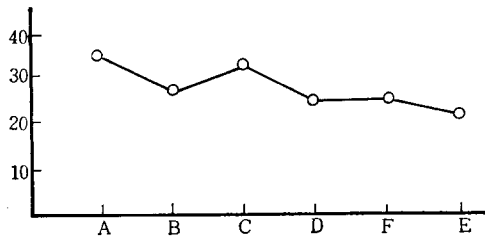


그림 8. 용착금속 중의 수소 함유량

표 5, 그림 8에서 나타난 바와 같이 피복제 중의 CaCO₃의 양이 많을수록 용착금속에 있는 수소 함유량이 낮아진다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이상의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 피복제의 염기도가 증가함에 따라

① 슬래그의 용융점이 높아져 입향용접에서는 비이드 모양이 좋아지나 하향 및 수평필렛용접에서는 반대로 비이드가 거칠어진다.

② 용착금속의 C, Mn, Si, P 성분 함유량이 낮아진다.

③ 용착금속 중의 수소 함유량이 떨어진다.

2) 충격치는 용착금속 중의 Mn, Si의 함유량이 각각 Mn(0.44~0.46), Si(0.097이상)일 때 가장 높다.

3) 용착금속의 조직이 조대할 수록 충격치는 떨어진다.

4) 작업성 및 기계적 성질을 동시에 만족시키는 용접봉은 피복제의 염기도가 0.62인 B종 용접봉이다.

참 고 문 헌

- 1) 윤동석, 양춘영, 철강제련공학, p.282, p.383.
- 2) AWS A5.1-81 13.3 Chemical Analysis, American Welding Society pp.9~13.
- 3) JIS Handbook, 일본용접협회, pp.208~322.
- 4) T. Hazellet, Coating ingredients influence on surface tension, Arc stability and bead shape. Weld J., Vol.36, No.6(1957), pp.18s~22s.
- 5) 關口春次郎, 安藤精一, 溶接棒, pp.205~209.