

研究論文

大韓熔接學會誌
第8卷第2號 1990年 6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 8, No. 2, Jun., 1990

Modelling FCW 용착금속의 기계적 성질에 미치는 Si, Mn의 영향

양철웅* · 강춘식** · 황선효*** · 김경중***

The Effect of Silicon and Manganese on Mechanical Properties of Modelling Flux Cored Arc Welded Deposit

C.W. Yang*, C.S. Kang**, S.H. Hwang***, K.J. Kim***

Key Words : FCW(플럭스코어드와이어), Columnar Zone(주상정영역), Coarse Grained Zone(조대립영역), Fine Grained Zone(미세립 영역), As-deposited Zone(원용착부), Reheated Zone(재열부), Primary Ferrite(초석페라이트), Lamellar Component(층상조직군)

Abstract

The effect of silicon and manganese, in the ranges of 0.3 to 1.0 wt% Si and 0.7 to 2.6 wt%Mn, on the microstructure and mechanical properties of flux cored arc welded deposits have been investigated for the purpose of improving mechanical properties.

Microstructure of weld metals was mainly influenced by manganese content, and manganese increased the volum fraction of acicular ferrite and refined the microstructure.

Also, tensile properties were governed by manganese content, ultimate tensile strength and yield strength were increased by approximately 82MPa and 58 MPa per 1% Mn addition to the deposit.

Toughness was improved by increasing Mn content and lowering Si content. Optimal impact properties were obtained at above 1.8wt% Mn and below 0.5wt% Si.

Acicular ferrite was predominant factor in improving mechanical properties. Formation of acicular ferrite was promoted by manganese and no direct relationship between AF(acicular ferrite) proportion and oxygen in weld metal was found.

* 학생회원, 서울대학교 대학원

** 정회원, 서울대학교 공과대학

*** 정회원, 한국해사 기술연구소

1. 서 론

오늘날 기계, 조선, 건축, 전자 등 거의 모든 산업분야에서 용접은 필수적인 가공기술로 대두되고 있으며 적용되는 용접기술도 다양화되어 가고 있다.

최근 산업의 발달과 작업환경 여건의 변화로 인해 대부분의 산업이 노동집약적인 상태에서 기술 집약적인 형태로 바뀌어 감에 따라 용접분야에서도 고능률화, 고품질화를 위한 용접의 자동 및 반자동화가 급속히 진전되고 있는 추세이다. 이에 따라 고능률 용접법이 개발되고 있으며 국내에서도 flux cored wire(FCW)를 중심으로 한 반자동 용접법의 적용이 증가하고 있다. 용접용 wire는 solid wire와 FCW로 구분할 수 있는데 용접작업성, 용접성은 물론 능률이나 경제적인 면에서도 FCW가 우수한 것으로 알려져 있다.

FCW는 여러가지 기준에 따라 구분되는 데 그 중 충전 flux의 염기도에 따라 염기성, 중성, 산성으로 구분할 수 있다. 현장에서는 일반적으로 산성계열의 FCW를 선호하는 경향이 있는데 이는 산성계열의 것이 용접작업성이 우수하기 때문이다. 그러나 산성계열의 것은 염기성계열 것보다 기계적인 성질면에서 취약하다는 결점을 가지고 있다. 따라서 용착금속의 조직개선을 통한 기계적 성질의 개선이 절실하다. 인성 및 강도를 개선하는 방법으로는 합금원소를 첨가하여 조직을 미세화시키는 방법이나 다중용접과 같이 재가열에 의해 미세화시키는 방법 등을 들 수 있다.

첨가되는 합금원소 중 Si와 Mn은 강재에 있어서 기본적인 첨가원소로 강한 탈산제일 뿐만 아니라 응고중 변태생성물을 변화시켜 용착금속의 조직에 영향을 미치게 된다. 즉 이들 원소의 함량에 따라 조직구성비 및 전체적인 결정입도등에 영향을 미쳐 용착금속의 기계적성질에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 용착금속의 기계적 성질의 개선을 위하여 FCW의 flux에 Si과 Mn을 첨가하여 용착금속내의 Si, Mn함유량을 변화시킴으로써 Si, Mn에 의한 용착금속의 조직변화와 기계적 성질의 변화를 관찰하고 적정 Si, Mn함유량을 결정하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. Flux cored wire의 제작

Flux cored wire(FCW)는 단면형상과 core부분의 성분에 따라서 여러 종류로 나누어지며 본 실험에서 사용된 것은 overlap 형태의 연강용 FCW이다.

용착금속의 Si과 Mn 함유량을 변화시키기 위해 Si과 Mn을 Fe-Si, Fe-Mn의 형태로 flux에 첨가하였으며, 그 첨가량을 각각 5단계로 변화시켜 25종의 FCW를 제작하였다. flux는 Table 1에 나타내었듯이 TiO₂가 주성분인 타이타니아계(rutile type)로 Tuliani등¹⁾의 염기도 산출식에 의하면 염기도가 0.035로 극히 낮은 산성계열의 것이다. 실험에 사용된 FCW의 직경은 2mm이며 flux충진률은 18%이다.

2.2. 용접

용접용 모재는 두께 15mm의 SS-41 연강판을 용접방향과 압연방향이 일치하도록 하여 root 간격 10mm의 단일 V홈(single V-groove)형태로 가공하여 사용하였다. 용접용 모재의 크기와 형상, 각종 시험 및 검사에 사용된 시험편의 채취 위치를 Fig.1에 나타내었다.

시험편의 용접에는 LINCOLN사의 IDEALARC DC-600 직류아크용접기와 wire feeder를 사용하였다. 용접은 토치를 고정시키고 용접용 모재를 일정속도로 이동시키며 용접하는 방법을 사용했

Table 1 Flux composition

TiO ₂	SiO ₂	ZrO ₂	CaF ₂	Fe	Mn	Si	Total	BI*
41.0	7.0	1.50	1.0	26.0	17.5	3.5	97.5	0.035

Basacity index, BI* = $\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaF}_2}{\text{SiO}_2 + 1/2(\text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$, by Tuliani

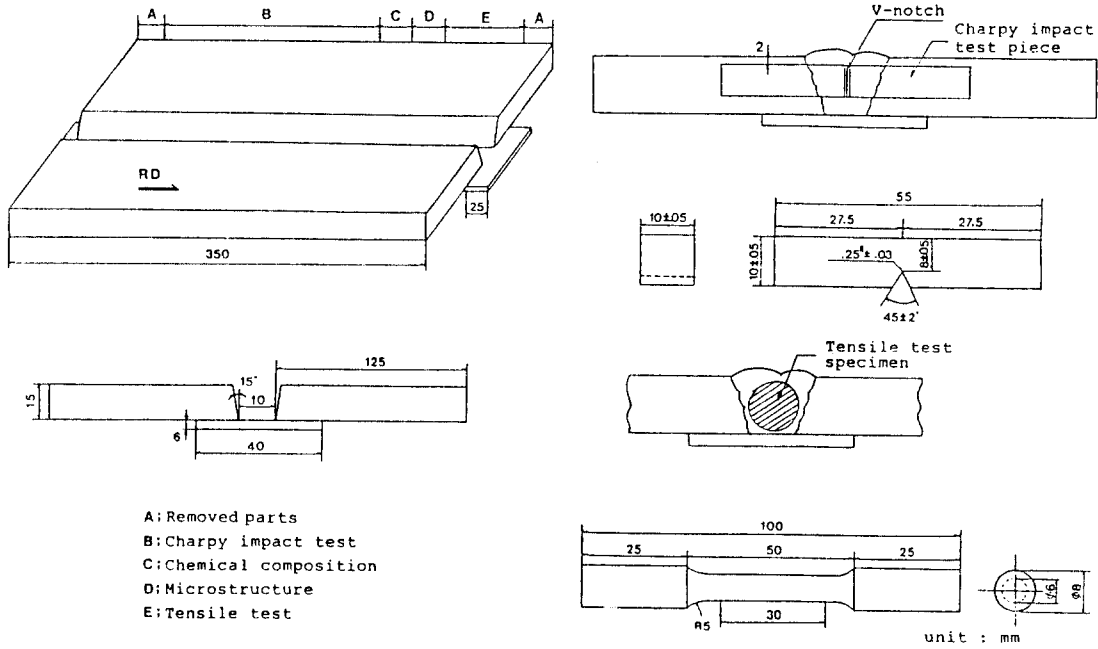


Fig. 1 Shape of welding specimen for FCAW and location of Charpy impact test and tensile test specimen

으며 차폐가스로는 CO₂ 가스를 사용하였다. 또 용접 후의 응고에 의한 변형을 피하기 위해 3°의 역변형을 주어 용접하였다. 그 밖의 용접조건은 Table 2와 같다. 용접은 다중용접방식을 적용하여 5층 6 pass로 하였으며 용접부의 단면형상과 조직관찰 위치, 그리고 각 pass의 위치를 Fig. 2에 나타내었다.

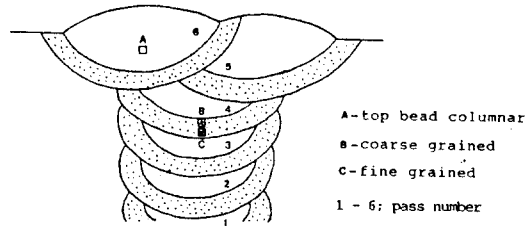


Fig. 2 Cross section of multi-run weld deposit

Table 2 Conditions for flux cored arc welding
Welding conditions

Voltage	26 V
Current	280-320 A
Wire feeding speed	175 in/min
Travel speed	30 cm/min
Shielding gas	CO ₂ , 20 l/min
Wire stick out	20mm
Wire dia.	2mm
Polarity	DCEP
Interpass temp.	150±4°C

2.3. 시험 및 관찰

화학분석용 시험편은 용접부의 중심부에서 채취해 모재 표면으로부터 2mm를 제거하여 사용하였다. 일반원소들의 분석에는 lightemission spectrometer를 이용하였으며 산소와 질소의 분석에는 O₂, N₂ determinater를 이용하였다.

인성을 평가하기 위한 충격시험에 사용된 시험편은 Charpy V-notch 시험편으로 용접모재의 표면으로부터 2mm떨어진 위치에서 notch가 용착부위에 오도록 하였다. 충격시험은 -60°C에서 70°C

까지를 7구간으로 나누어 행하였으며 각 온도에서 2-3개씩 시험하여 평균값을 취했다. 저온은 알콜과 dry ice를 이용해 유지하였고 고온은 열처리로를 이용하였다.

인장시험편은 순 용착금속만으로 subsize의 크기로 제작하였으며 표면흡집에 의한 notch효과를 없애기 위해 시험편을 길이방향으로 연마하여 시험하였다. 인장시험은 INSTRON 인장시험기를 이용하였으며 연신률은 extensometer와 표점을 병용하여 측정하였다.

Se, Mn 함유량의 변화에 따른 조직의 변화를 관찰하기 위하여 용접시험에서 용착금속부위를 채취하여 연마후 2% Nital로 부식시켜 관찰하였다.

조직의 비교관찰은 최상부 비드의 주상정 영역(columnar zone)과 후속용접에 의해 열영향을 받은 재열부의 조대립 영역(coarse grained zone), 미세립 영역(fine grained zone)으로 구분하여 행하였으며 그 위치를 Fig. 2에 나타내었다. 또 주상정영역에 대해 조직을 크게 첫째, 입계페라이트(grain boundary ferrite)와 입내다각형페라이트(itragranular polygonal ferrite)를 포함한 초석페라이트(primary ferrite, PF), 둘째, 페라이트 측면판(ferrite side plate)이나 베이나이트(bainite)를 포함한 층상조직군(lamellar components, LC), 셋째, acicular ferrite(AF)의 3종류로 구분하여 point counting법을 이용해 주상정영역의 조직구성비를 측정하였다. Point counting은 ×330의 배율로 주상정영역의 0.4mm×0.3mm에서 눈금크기를 15μm로 하여 500 point에 걸쳐 행하였으며 주상정영역 중심의 두 곳에 대해 행하여 평균값을 취했다. 또한 미세립 영역에 대해서는 조직을 200배로 확대하여 linear intercept

method를 이용하여 각 시험당 5회씩 측정하여 평균값을 취해 결정립의 크기를 측정하였다^{6,7,8)}.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 용착금속의 화학조성

25종의 용접시험편과 모재의 화학조성은 Table 3과 같다. 여기서 보듯이 25종의 시험편은 Si과 Mn이 각각 0.3-1.0wt%, 0.7-2.6wt%사이의 조합으로 이루어져 있다. 또한 Table 3을 보면 산소량이 Si, Mn에 따른 큰 변화는 없으나 전반적으로 높게 나타난 것을 알 수 있다. 일반적으로 용접에서 산소의 공급원은 대기와 flux로 용접시 대기와의 직접접촉이나 flux내의 산화물의 분해에 의해 공급된다. 따라서 용착금속내의 산소함량은 flux내의 산화물의 분해에 의해 공급된다. 따라서 용착금속내의 산소함량은 flux의 염기도에 크게 의존하게 되며 이러한 산소는 일반적으로 강에 대한 고용도가 극히 적어 용착금속내에서 대부분 산화물의 형태로 존재하게 된다^{1,9,10)}.

3.2. 용착금속의 조직변화

용착금속의 조직은 기계적 성질과 밀접한 관계를 가지고 있어 기계적 성질의 개선을 위해서 매우 중요하게 다루어지고 있다.

본 실험에서 적용한 용접방법은 다중용접으로 용착금속의 조직을 크게 주상정영역(as-deposited region)과 후속용접에 의해 열영향을 받는 재열부(reheated region)로 나눌 수 있다. 재열부에서는 재결정이 일어나며 이 영역은 다시 열영향을 많이 받아 조직이 조대화된 조대립 영역(coarse grained region)과 재결정에 의해 미세화된 미세립 영

Table 3 Chemical composition of weld metals

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	BM
C(wt%)	.065	.078	.073	.093	.093	.067	.066	.084	.076	.084	.069	.078	.062	.076	.077	.061	.054	.065	.063	.084	.057	.067	.060	.062	.092	.147
Si(wt%)	.35	.39	.35	.44	.44	.48	.50	.51	.51	.48	.62	.63	.37	.62	.66	.73	.68	.66	.67	.64	.80	.73	.84	.82	.99	.35
Mn(wt%)	0.71	1.07	1.15	1.79	2.54	0.78	1.12	1.44	1.82	2.12	0.85	1.15	0.95	1.73	2.53	0.84	1.02	1.24	1.59	1.75	0.81	1.08	1.37	1.69	2.53	1.44
P(wt%)	.017	.018	.019	.021	.020	.016	.016	.019	.022	.022	.016	.018	.018	.021	.024	.019	.020	.021	.020	.023	.019	.016	.018	.017	.022	.015
S(wt%)	.007	.007	.006	.008	.008	.007	.006	.008	.010	.010	.007	.007	.009	.010	.010	.011	.011	.012	.010	.013	.011	.007	.008	.007	.007	.006
O ₂ (ppm)	820	790	802	1100	810	840	830	800	800	877	765	845	1210	810	800	850	910	930	800	856	920	870	840	850	850	
N ₂ (ppm)	75	74	80	71	74	74	81	76	48	56	83	56	85	48	50	50	54	71	66	55	54	68	69	71	69	

역 (fine grained region)으로 나눌 수 있다. 각 영역의 분포는 용접시험편에 따라 차이가 있다. Photo. 1은 Mn 함유량에 따른 각 부위의 조직변화를 나타낸 것이다. 또한 주상정 영역에서의 조직변화를 정량적으로 평가하기 위하여 전 시편을 point counting법에 의해 조직구성비를 구하여,

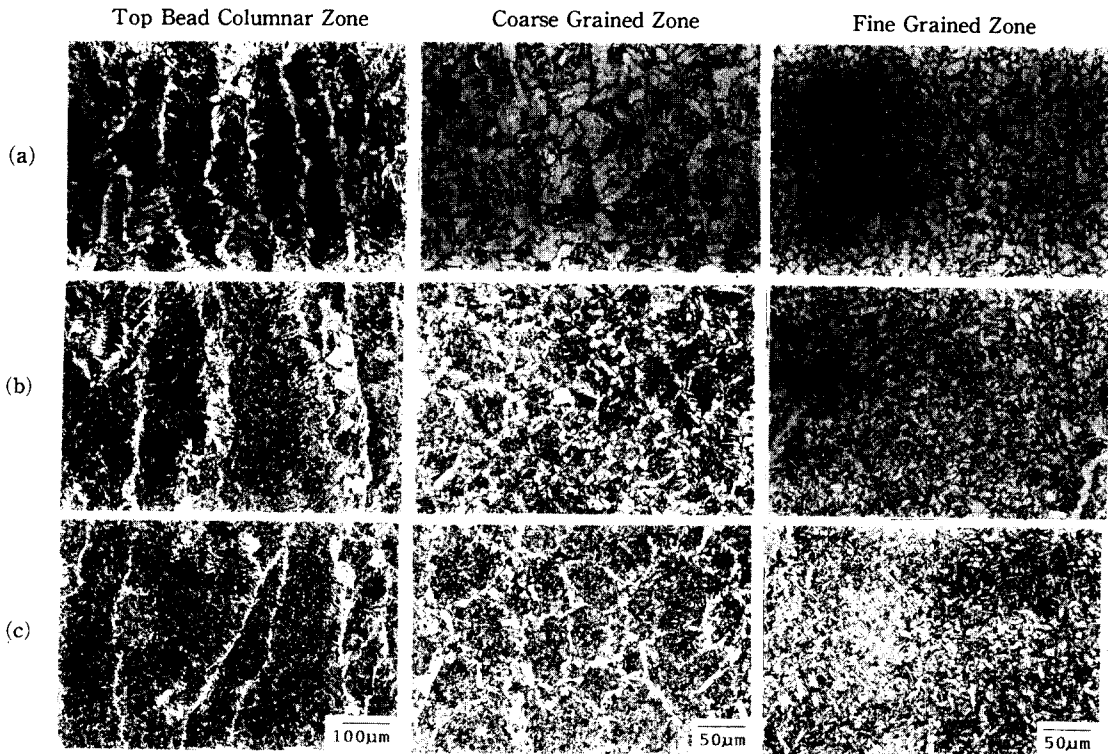
이 조직구성비에 미치는 Mn함유량의 영향을 Fig. 3에 나타내었다. Phot. 1과 Fig. 3으로부터 상부 비드의 주상정 영역에서 Si이 0.48-0.51wt% 범위내인 경우 Mn이 0.78wt%에서 2.12wt%로 증가할수록 초석 ferrite나 층상조직군 (ferrite 측면판) 등이 감소하고 acicular ferrite는 (이하 AF) 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 Mn함유량의 증가에 따라 구 austenite 입내에 석출되는 AF의 양은 증가하지만, Phot. 2에서 보듯이 ferrite결정립의 크기는 감소하는 것을 알 수 있다.

재열부의 조대립 영역에서는 Phot. 1에서 알 수 있는 것 처럼 Mn함유량이 증가함에 따라 초

석 ferrite의 결정립이 미세해지며 그 양도 감소한다. Table 4는 미세립 영역에서 Mn함유량에 따른 ferrite결정립 크기의 평균치를 표시한 것이다. 이것으로부터 Mn함유량이 0.78wt%에서 2.12wt%로 증가함에 따라 ferrite결정립의 크기가 7.2 μ m에서 2.8 μ m로 감소하는 것을 알 수 있다.

이상으로부터 Mn함유량의 증가는 용착금속의 전부분에 걸쳐 조직을 미세화시킨다는 것을 알 수 있다. 이는 Mn이 austenite안정화 원소로 $\gamma \rightarrow \alpha$ 변태구역을 저온쪽으로 이동시키고, 과냉도가 커져 변태를 일시에 일으킴으로써 균일하고 미세한 ferrite를 형성하기 때문이라고 생각된다.

Photo. 3은 Si함유량에 따른 각부분의 조직변화를 나타낸 것이다. 또한 주상정영역에서 point counting한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 (a)는 Mn함유량이 1.02-1.15wt%인 경우 Si함유량에 따른 주상정 영역에서의 조직 구성비를 나타낸 것이다. 이것으로부터 Si함유량의 증가에



(a) 0.78wt% Mn, (b) 1.44wt% Mn, (c) 2.12wt% Mn

Photo. 1 Microstructures of weld metal depending on the manganese content (Si content : 0.48-0.51wt%)

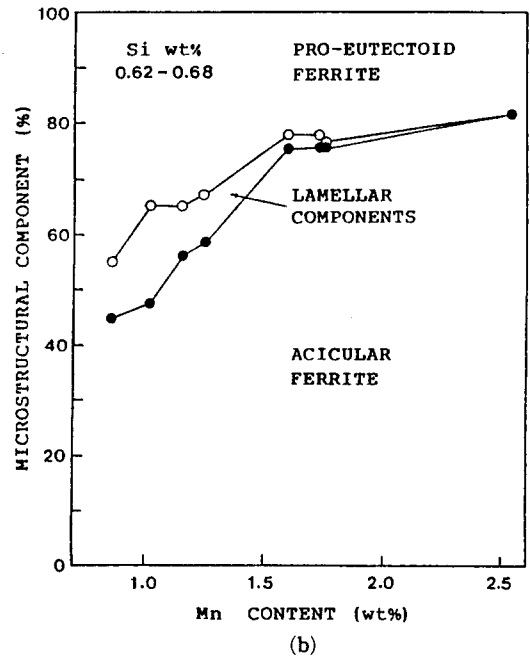
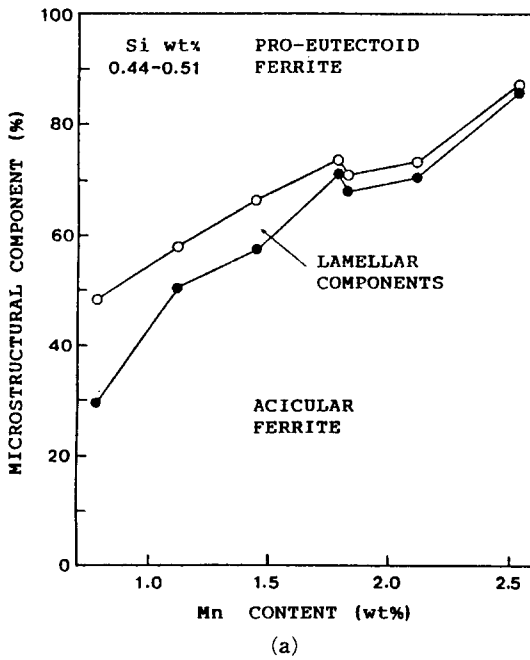
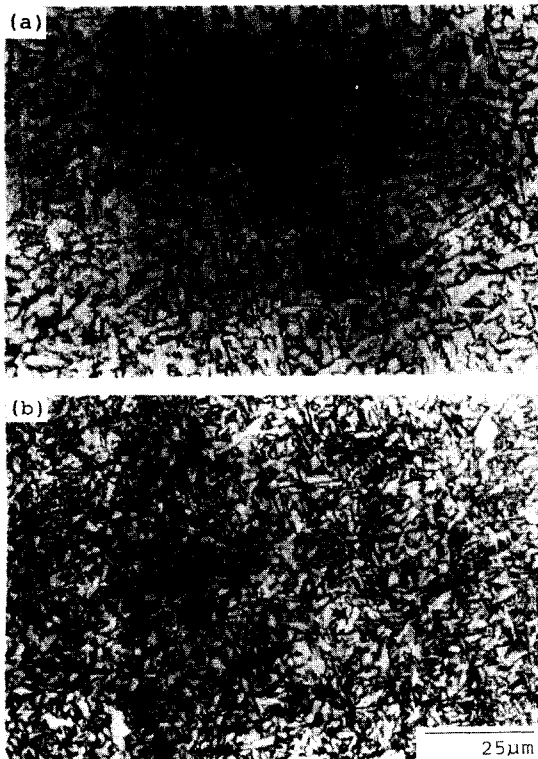


Fig. 3 Effect of manganese on the microstructure of as-deposited weld metal



(a) Manganese content : 0.78wt%
 (b) Manganese content : 2.12wt%

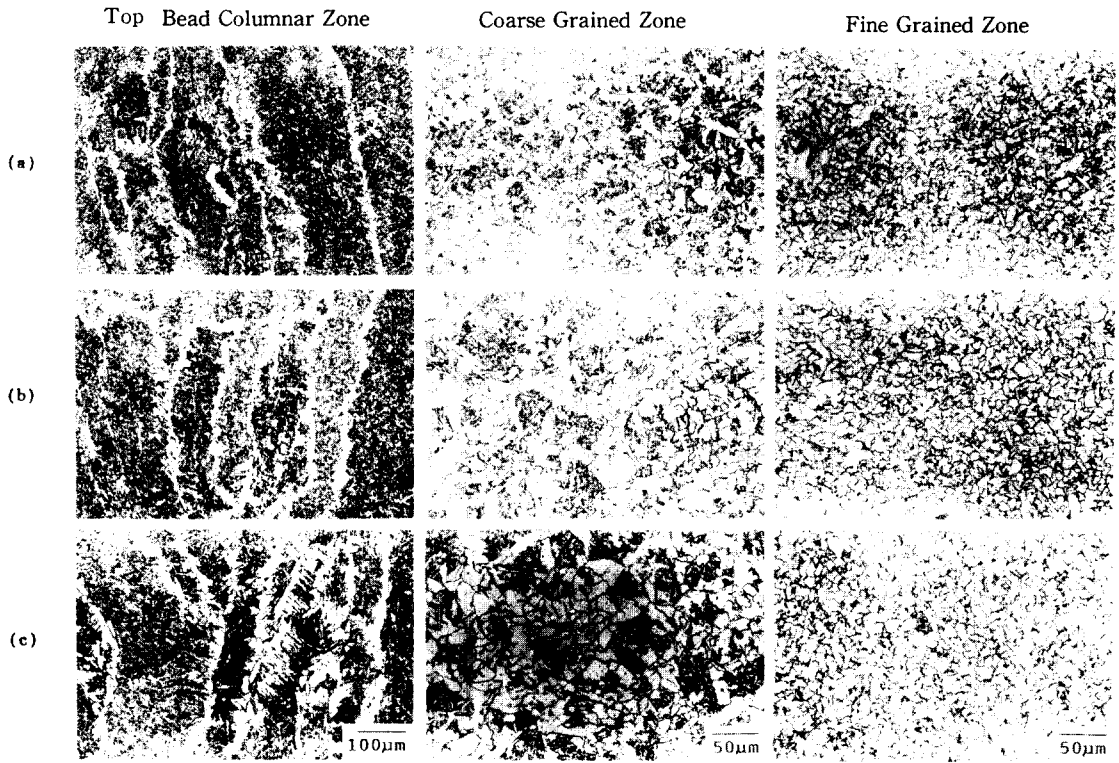
Photo. 2 Microstructures of acicular ferrite

Table 4 Grain size in fine grained region
 (Si content : 0.48-0.51wt%)

Specimen No.	6	7	8	9	10
Mn wt%	0.78	1.12	1.44	1.82	2.12
D, µm	7.2	6.1	3.8	3.4	2.8

따라 전반적으로 AF의 양이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 4의 (b)에서와 같이 고 Mn (1.69-1.82wt%) 용착금속의 주상정 영역에서는 Si함유량의 증가에 따라 AF양의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. Fig. 4의 (a)와 (b)로부터, Mn함유량이 높은 경우가 AF양이 대체적으로 많고 Si함유량의 변화에 민감하지 않음을 알 수 있다. 따라서 Si보다는 Mn이 조직변화에 미치는 영향이 더 크며, Mn의 함유량이 조직변화에 큰 영향을 미치지 못하는 수준으로 감소되어야 Si의 영향이 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한 재열부에서도 주상정 영역과 마찬가지로 Si함유량에 따른 조직의 변화는 거의 없었으며 미세립 영역의 결정립 크기를 측정된 결과는 Table 5에서 보듯이 Mn의 경우와 같은 선형적인 결과를 나타내지는 않는다는 것을 알 수 있다.

조직개선에 주로 관계되는 구성요소는 미세립인 AF로 이는 산화물과 같은 비금속개재물을 핵생성



(a) 0.35wt% Si, (b) 0.63wt% Si, (c) 0.73wt% Si

Photo. 3 Microstructures of weld metal depending on the silicon content (Mn content : 1.02-1.15wt%)

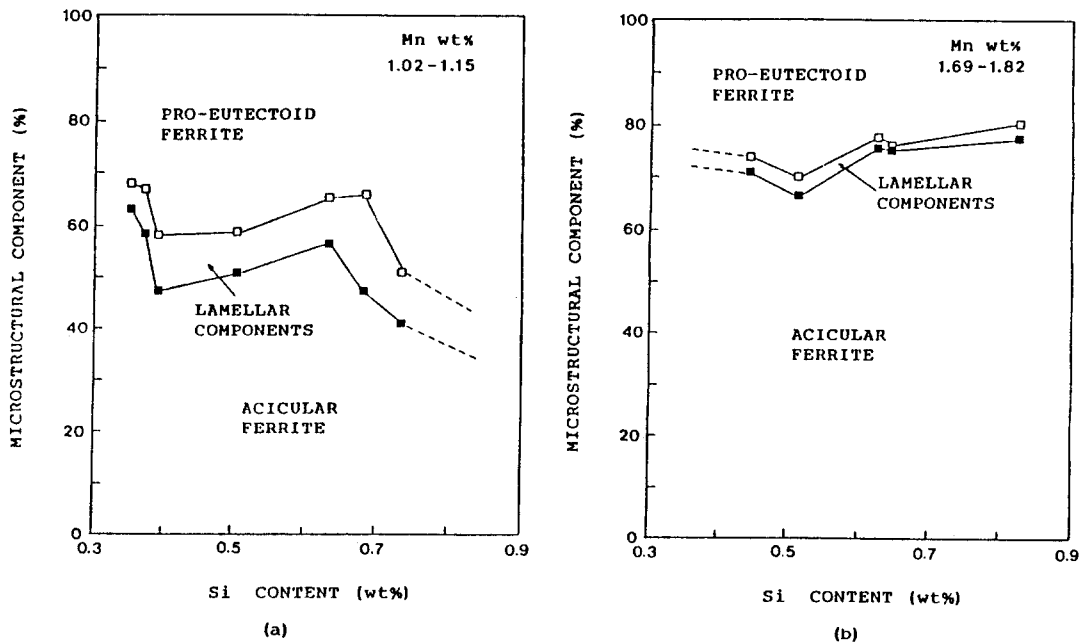


Fig. 4 Effect of silicon on the microstructure of as-deposited weld metal

Table 5 Grain size in fine grained region (Mn content : 1.02-1.15wt%)

Specimen No.	3	7	12	17	22
Si wt%	0.35	0.50	0.63	0.68	0.73
D, μm	5.8	6.1	5.5	7.2	7.8

자리로 하여 생성되며 이에 따른 적정 산소 함량이 300ppm정도인 것으로 알려져 있는데^{1,3,4,5,11)}, Bhatti등은 AF의 양과 용착금속내의 산소양과는 직접적인 관계가 없다고 보고하여 기존의 보고와는 상반된 결과를 보였다⁹⁾. 본 실험에서도 Fig. 5에 나타난 바와 같이 산소 함량이 800-900ppm인 경우 AF 분율이 30-90%까지 변화하는, 즉 용착금속에서 AF양은 산소함량과는 직접적인 관계가 없는 것으로 나타났다.

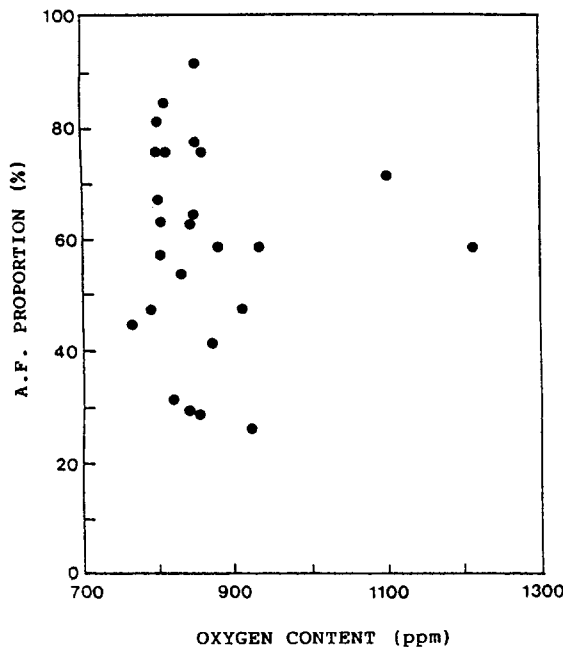


Fig. 5 Relationship between oxygen content and acicular ferrite proportion

3. 3. 인장강도에 미치는 Si, Mn의 영향

순 용착금속만으로 제작된 25종의 인장시험편에 대해 인장시험을 행한 결과, 시험편의 파괴양상은 연성파괴에서 나타나는 대표적인 형태인 컵-원뿔 파괴를 보였다.

Fig. 6은 Mn이 인장강도에 미치는 영향을 나타낸 그림으로 실험결과에 산란이 있기는 하지만, Mn함유량의 증가에 따라 최대인장강도와 항복강도가 대체로 증가함을 알 수 있다. 그러나 Si함유량의 증가에 따른 인장강도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. Fig. 6에서 직선은 최소자승법을 이용해 근사적으로 구한 것으로 Mn에 의한 최대인장강도 및 항복강도의 변화는 다음과 같은 근사식으로 나타낼 수 있다.

$$U. T. S. = 505.30 + 81.98Mn \text{ (MPa)}$$

$$Y. S. = 473.53 + 57.56Mn \text{ (MPa)}$$

즉 최대인장강도는 용착금속에서 Mn이 1%증가함에 따라 약 82MPa정도 증가하며 항복강도는 약 58MPa정도 증가한다. 또한 인장강도는 조직과도 관계가 있어 AF분율이 증가함에 따라 Fig. 7에서 보듯이 최대인장강도와 항복강도가 증가함을 알 수 있다.

따라서 이러한 Mn함유량의 증가에 따른 인장강도의 증가는 고용강화효과와 주상정영역에서의 AF 부피분율 증가에 따른 조직미세화, 재가열부에서의 조직미세화등의 복합적인 효과에 의한 것

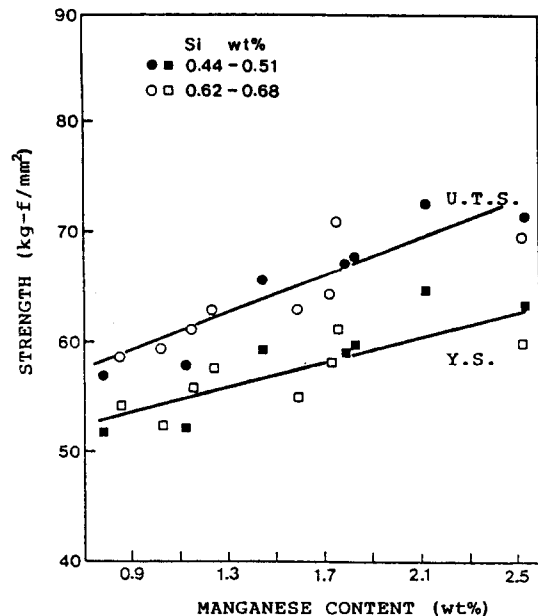


Fig. 6 Effect of manganese content on tensile properties

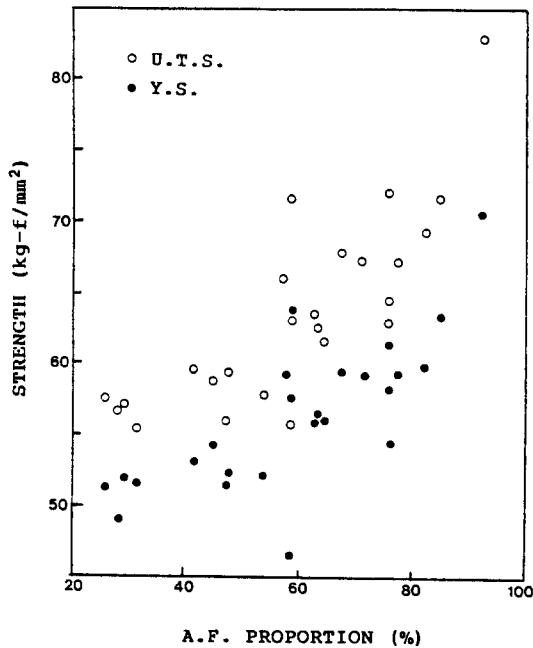


Fig. 7 Relationship between tensile property and acicular ferrite proportion

이라고 추측된다.

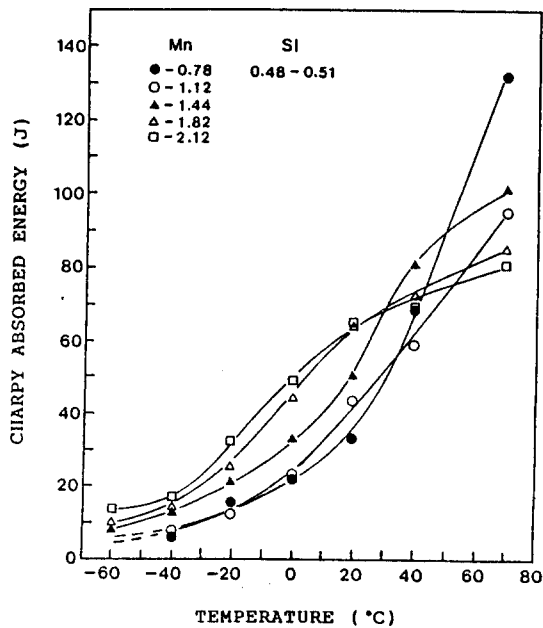
Mn의 영향에 대한 정량적인 평가는 연구자들에 따라 각각 다르며 Evans에 의하면 염기성 flux를 써서 실험한 결과, C-Mn용착금속에서 Mn에 의해 100MPa/%정도의 강화효과가 나타난다고 보고하였다²⁾.

본 실험에서는 Evans의 실험결과에는 다소 못미치지만 증가의 경향성은 거의 일치하고 있다. 이처럼 Mn함유량의 증가에 따른 인장강도의 증가율이 이전의 보고들보다 떨어지는 이유는 용착금속내의 산소 함량이 Table 3에서 보듯이 높아, 산화물과 같은 비금속재물, 즉 미소공동을 발생시킬 수 있는 자리가 염기성 flux를 써서 실험한 경우보다 많았기 때문이라고 추측된다.

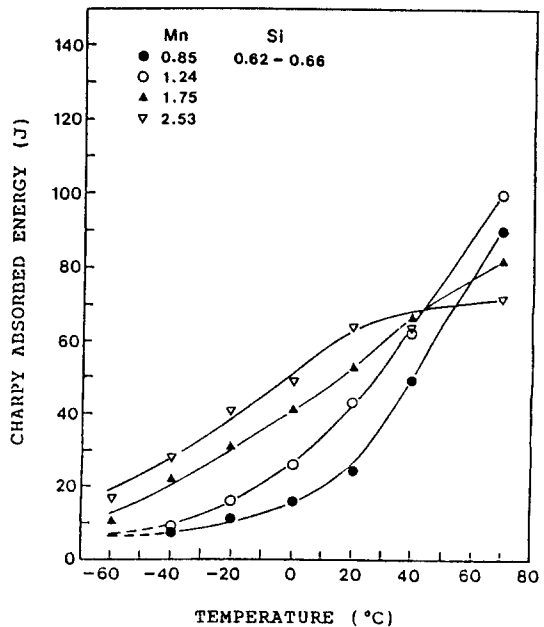
3. 4. 충격인성에 미치는 Si, Mn의 영향

용접물에서 인성은 품질의 평가 기준으로 이용되며 특히 저온인성은 매우 중요하다.

Fig. 8은 Mn함유량의 변화에 따른 천이곡선의 변화를 나타낸 것으로 (a)는 Si이 0.48-0.51wt%



(a)



(b)

Fig. 8 Charpy impact test results depending on the manganese content

일 때, (b)는 Si이 0.62-0.66wt%일 때의 결과이다. (a), (b) 모두 Mn함유량이 증가함에 따라 천이곡선이 저온측으로 이동하며 고온측의 upper shelf가 낮아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 Si함유량 변화에 따른 천이곡선의 변화를 나타낸 것으로 (a)는 Mn이 1.02-1.15wt%일 때, (b)는 Mn이 1.69-1.82wt%일 때의 결과이다. 여기서는 Mn과는 반대로 Si함유량의 증가에 따라 천이곡선이 고온측으로 이동하는 양상을 보이고 있으며 upper shelf도 높아짐을 알 수 있다. 이를 보다 간편하게 비교하기 위하여 Fig. 10, 11에서와 같이 시험온도별로 성분함량의 변화에 따른 충격흡수에너지 값을 나타내 보았다.

Fig. 10은 위의 Fig. 8에 대응하는 그림으로 저온에서는 시험 범위내에서 Mn함유량이 증가함에 따라 같은 온도에서 흡수에너지 값이 상승하나 20°C 이상의 시험 온도에서는 흡수에너지 값이 증가하다가 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, 흡수에너지가 가장 높은 점은 온도가 상승할수록 Mn함유량이 낮은 쪽으로 이동해 간다. 또한 Si의 경우 Fig. 11에 나타난 바와 같이 시험범위내에서 Si이 증가함에 따라 같은 온도에서 흡수에너지 값이 감

소하는 것을 알 수 있다. (b)에서 시험온도 40°C인 경우의 흡수에너지 값이 감소하다가 증가하는 양상을 보이는 것은 Fig. 9를 보면 알 수 있듯이 천이곡선이 Si함유량의 증가에 따라 고온측으로 이동해가기 때문이다.

또한 Si, Mn함유량의 변화는 천이곡선에 영향을 미쳐 천이온도를 변화시킨다. Fig. 8, 9로부터 15ft-lb천이온도를 비교해본 결과, Mn에 의한 천이온도의 변화는 Si함유량에 무관하게 Mn함유량의 증가에 따라 감소하는데 반해 Si에 의한 천이온도의 변화는 저 Mn과 고 Mn의 경우가 뚜렷이 구별되어 Mn이 많은 경우가 더 낮게 나타났으나 Si량의 증가에 따라서는 미소한 증가가 보이기는 하나 뚜렷한 경향성은 찾아 볼 수가 없었다. 즉 천이온도는 Si보다 Mn의 영향이 지배적이며 Mn함유량이 증가할수록 낮아진다.

Fig. 12는 Charpy 흡수에너지와 조직구성비와의 관계를 보여주는 그림으로 AF분율이 증가할수록 충격인성이 향상됨을 보이고 있다. Photo. 4는 Charpy 시험편의 파단면을 표면이 손상되지 않도록 Ni도금하여 파괴 진행방향으로 절단했을 때의 조직이다. 저온에서 인성은 조직의 균열전파

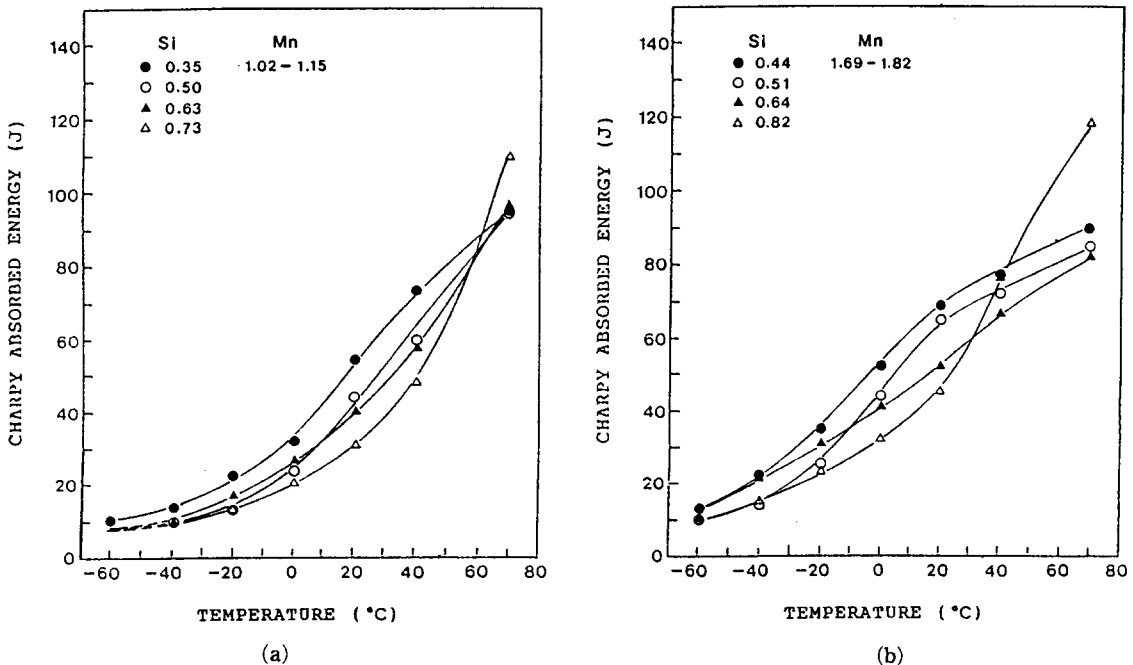


Fig. 9 Charpy impact test results depending on the silicon content

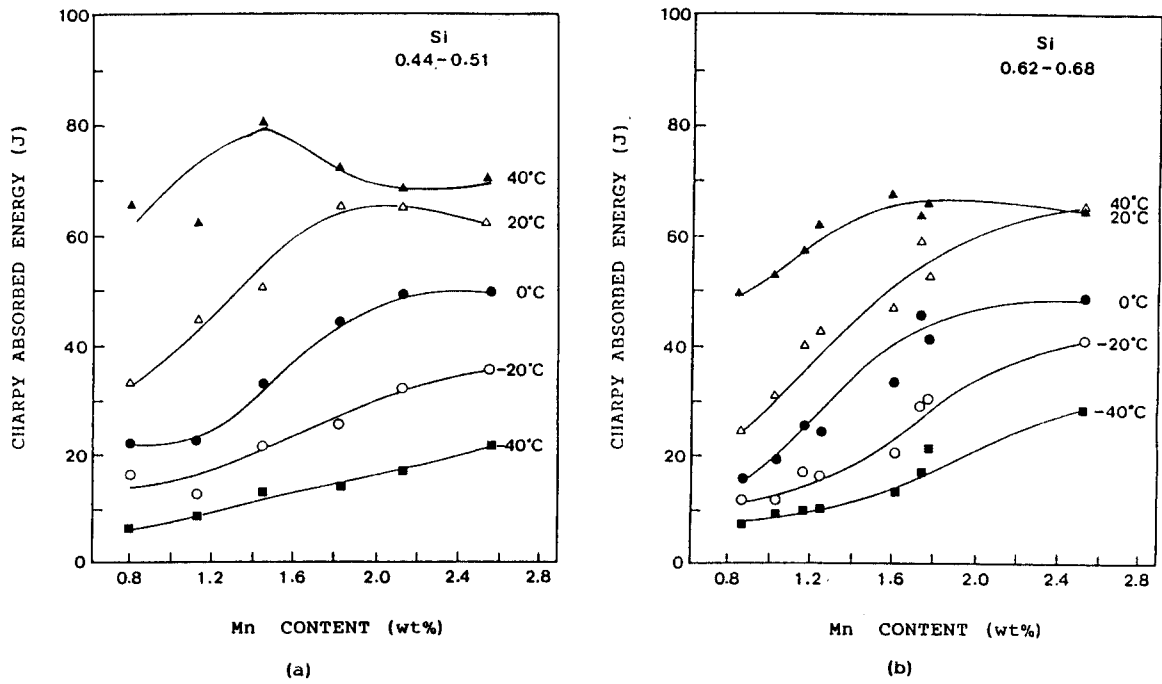


Fig. 10 Effect of manganese content on toughness

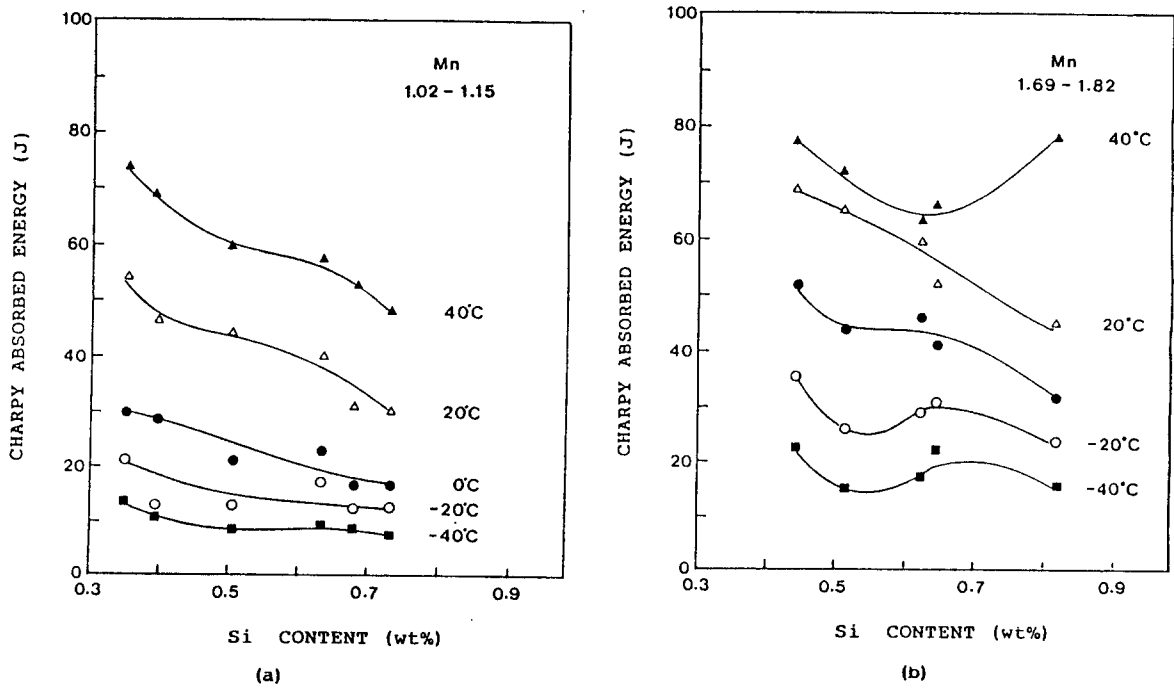


Fig. 11 Effect of silicon content on toughness

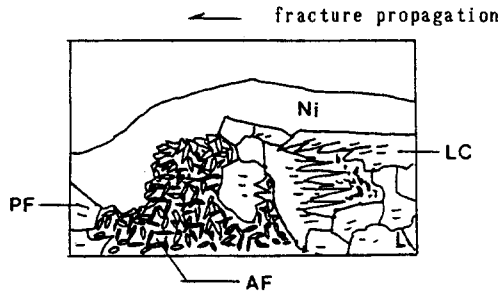
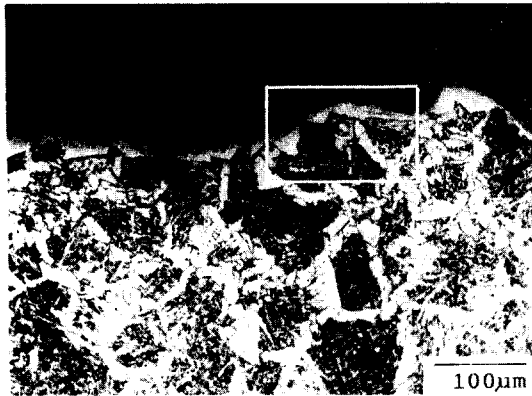


Photo. 4 Cross section along the direction of fracture propagation (Ni-plated, 0.62wt% Si-0.85wt% Mn, test temp.: -40°C)

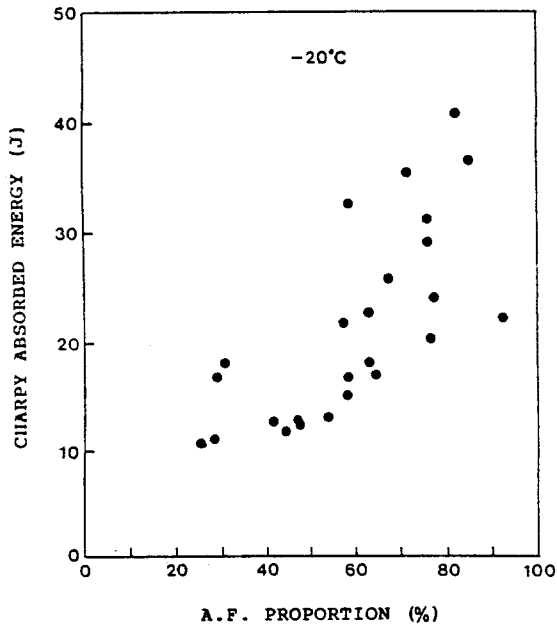


Fig. 12 Relationship between Charpy absorbed energy and acicular ferrite proportion

에 대한 저항성, 균열의 직선 전파 길이 등에 관계되는 데 Photo. 4를 보면 초석 ferrite나 층상 조직군에서는 균열이 직선적으로 전파해 나가지만 AF에서는 균열전파의 직선거리가 짧은 것을 알 수 있다. 이것은 균열 전파에 대한 장벽역할을 하는 입체가 AF가 더 많을 뿐만 아니라 AF는 인접하는 결정립과 결정방위가 크게 달라^{4,11)} 균열전파에 대한 저항성이 높기 때문이라고 생각한다. 즉, 충격인성은 조직과 밀접한 관계를 가져 AF분율이 증가할수록 향상된다.

Fig. 13은 -20°C의 시험온도에서 Si와 Mn의 함유량이 다른 전 시편의 Charpy흡수에너지 값을 나타내고 비슷한 수준의 값들을 연결한 그림으로 용접물로서 사용이 적합한 흡수에너지값을 갖는 Si와 Mn의 적정 함유량이 대략 Mn은 1.8wt% 이상, Si은 0.5wt%이하의 범위임을 알 수 있다.

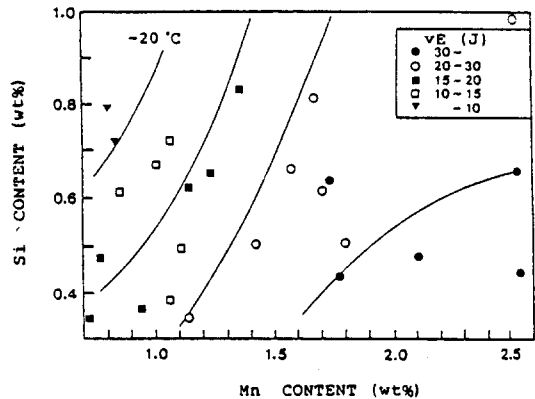


Fig. 13 Effect of manganese and silicon contents on Charpy absorbed energy at -20°C

4. 결 론

Si와 Mn이 용착금속의 기계적 성질에 미치는 영향을 알아보기 위해 Si함유량을 0.3wt%에서 1.0wt%까지, Mn함유량을 0.7wt%에서 2.6wt%까지 변화시킨 25종의 FCAW용착금속에 대해 인장시험, 충격시험과 조직관찰을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Mn함유량이 0.7wt%에서 2.6wt%까지 증가함에 따라 용착금속의 조직은 acicular ferrite의 양이 증가하고, 결정립의 크기는 감소하였으며 재열부조직도 미세해져 전체적으로 조

- 적이 미세해졌으나 Si함유량의 증가에 따라서는 조직이 작은 쪽으로 조대화되었다.
- 2) 인장강도는 주로 Mn에 의해 좌우되어 Mn함유량이 1% 증가함에 따라 U.T.S.는 82 MPa, Y.S.는 58 MPa정도 증가하였고 Si함유량 증가에 따른 인장강도의 변화는 거의 없었다. 또, acicular ferrite의 양이 증가함에 따라 인장강도가 향상되었다.
 - 3) 충격인성은 용착금속의 조직과 밀접한 관계를 가져, acicular ferrite의 양이 증가할수록 향상되며 Mn이 증가할수록, Si이 감소할수록 증가하여 Mn은 약 1.8wt%이상, Si은 약 0.5wt%이하의 조성범위에서 양호하였다.
 - 4) Acicular ferrite의 양은 용착금속내의 총 산소량과는 직접적인 관계가 없었다.

참고문헌

- 1) D.J. Abson, R.J. Pargeter : Factors influencing the as-deposited strength microstructure and toughness of manual metal arc welds suitable for C - Mn steel fabrication, International Metal Reviews, Vol. 31, No. 4, (1986), pp. 141-194
- 2) G.M. Effect of manganese on the microstructure and properties of all-weld deposits, Weld. Res. Abroad, Vol. XXIX, No. 1, (1983), pp.2 ; Weld. J., Vol. 59, No. 3, (1980), pp. 67s-75s.
- 3) M.A. Munning Schmidt-Van Der Brug, S. Hoekstra, G. Den Ouden : Influence of microstructure on mechanical properties of two single-bead ferritic weld metals, Weld. J., Vol. 64, No. 3, (1985), pp. 63s-70s
- 4) Y. Ito, M. Nakanishi : Study on Charpy impact properties of welds(Report 1), J. of J. I.W., Vol. 44, No. 9, (1975), pp. 30-35
- 5) Y. Ito, M. Nakanishi : Study on Charpy impact properties of welds(Report 2), J. of J.I.W., Vol. 44, No. 10, (1975), pp. 37-43
- 6) 大北, 矢竹 : 鋼溶接部の金屬組織の見方(第1回), 溶接技術, Vol. 33, No. 1, (1985), pp. 75-80
- 7) 大北, 矢竹 : 鋼溶接部の金屬組織の見方(第2回), 溶接技術, Vol. 34, No. 1, (1986), pp. 71-77
- 8) R.E. Dolby : Guidelines for the classification of ferritic steel weld metal microstructural constituents using the light microscope, Welding in the World, Vol. 24, No. 78, (1986), pp. 114-148
- 9) A.R. Bhatti, M.E. Saggese, D.N. Hawkins, J. A. Whiteman, M.S. Golding : Analysis of inclusion in submerged arc weld in microalloyed steels, Weld. J., Vol. 63, No. 7, (1984), pp. 161-166.
- 10) 中西, 小溝 : 低炭素鋼溶接金屬の組織と靱性におよぼす酸素, 窒素の影響, 日本溶接學會誌, Vol. 52, No. 2, (1983), pp. 161-166
- 11) S. Liu, D.L. Olson : The role of inclusion in controlling HSLA steel weld microstructures", Weld. J., Vol. 65, No. 6, (1986), pp. 139s-149s