

알루미늄 합금의 GMAW 용접

윤 광 회* · 한 용 섭*

Gas Metal Arc Welding of Aluminum Alloys

K. H. Youn* and Y. S. Han*

1. 서 론

1970년대 2번에 걸친 석유 파동 이후 재료의 경량화는 자동차, 우주항공분야에서 중요한 문제로 대두되었다. 알루미늄합금은 높은 강도/밀도비, 내식성, 인성 및 저온 특성을 보유하고 있어 일반 가정용품에서 자동차, 우주항공, 선박같은 수송장비까지 여러분야에 사용되고 있으며, 그 사용량과 적용분야는 해가 갈수록 증가하고 있다. 알루미늄합금의 용접 특성과 용접 시공기술에 대한 연구결과는 상당히 많이 발표되어 있으나, 실제 현장용접시에는 기공, 불완전 용입 등의 예상치 못한 용접불량이 발생한다. 알루미늄합금의 용접 방법으로는 GTAW, GMAW 등의 보호가스 용접이 주로 사용되고 있다. 본고에서는 알루미늄합금의 GMAW용접 특성과 용접시 용접 결함에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

2. 알루미늄 합금의 용접에 미치는 제 성질

2.1 알루미늄 합금의 물리 화학적 성질

알루미늄 합금의 열전도도는 순수알루미늄의 경우

$240 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 정도이며 합금의 경우 $177 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 정도로 steel에 비해 3-5배 정도 높다. 이러한 높은 열전도도 때문에 용접시 발생열은 알루미늄 모재를 통해 쉽게 방출된다. 따라서 알루미늄합금의 낮은 용융온도에도 불구하고 용접시 매우 크고 집중적인 입열량이 필요하다. 열이 집중되지 않으면 매우 넓은 열영향부가 발생하게 되고 이들 부위에서 재결정, 석출물들의 용해등에 의해 강도가 감소하게 된다.

알루미늄합금의 전기전도도는 화학성분과 열처리 방법에 따라 달라지나 대략 $16-35 \times 10^3 / \Omega \text{mm}$ 정도를 가지며 Steel의 전기전도도 ($9.3 \times 10^3 / \Omega \text{mm}$)보다 높다. 특히 점용접시에는 Steel보다 높은 전류가 필요하게 된다.

알루미늄의 선팽창계수는 $23.8 \times 10^{-6} / \text{K}$ 정도로 철의 약 2배가 되며 용접후 냉각시 구조물의 변형을 일으킬 뿐만아니라 용접 균열 발생의 원인이 되기도 한다.

알루미늄은 산소와 반응하여 용융온도가 2050°C 에 이르는 산화 피막을 형성하게 되고 이 산화 피막은 산소의 확산을 억제하여 더 이상 알루미늄과 산소의 반응을 억제한다. 알루미늄 합금은 이러한 산화 피막때문에 내식성이 우수하나, 용접전에는 산화피막을 제거하여야 건전한 용접부를 얻을 수 있다.

* 정회원, 대우조선 기술연구소

알루미늄 합금판은 용접전 산화피막을 제거하기 위하여 표면전처리를 행하여야 한다. 전처리 방법은 크게 기계적 방법과 화학적 방법으로 나눌 수 있다.

기계적 방법이란 용접될 표면을 적당한 연마제로 연마하거나, 스테인레스 솔을 이용하여 표면의 산화막을 제거하는 방법이다. 조그만 부위는 수동 연마하며, 넓은 판은 회전식의 기계술을 이용한다. 화학적 방법이란 NaOH 혹은 HNO₃ 등의 화학용액을 이용하여 산화막을 녹여내는 방법을 말한다. 이 방법은 세척, 산세처리, 세척, 부동태 처리, 세척 및 건조의 순으로 진행된다.

Al과 steel의 물리화학적 성질을 표 1에 비교하여 나타내었다.

표 1. 알루미늄과 철의 물리화학적 성질

성 질	알루미늄	철
용점(°C)	660	660×1.6
잠열(cal/g)	93	93×0.7
비열(cal/g °C)	0.22	0.22×0.5
열전도율(cal/cm °C)	0.53	0.53×0.3
탄성계수(10 ³ Kg/mm ²)	6.9	6.9×3
선팽창계수(10 ⁻⁶ /°C)	23.8	23.8×0.5
고유저항(μΩ cm)	2.65	2.65×4.0
전도율(%)	62	62×0.25
산화피막	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃

2.2 알루미늄 합금의 일반적 용접성

1) 순수 알루미늄 혹은 합금량이 적은 알루미늄 합금의 경우 용접 도중 용접부에 기공의 불량 발생하기 쉽다. 그 이유는 평형 상태에서 액상선과 고상선의 온도차가 적어 응고 도중 가스가 용융물에서 빠져 나가는 시간이 매우 짧기 때문이다.

2) 용접 균열의 위험도는 합금 종류와 양에 따라 결정된다. 일반적으로 균열은 고상선과 액상선사이의 온도구간이 클수록 발생 위험도가 높으나, 실제로 응고도중의 고상 결정립과 액상 결정립의 상호관계가 용접균열에 더욱 많은 영향을 미친다. 예를 들면 Al-Mg합금에서 Mg양이 17.4% 일때 고상선과 액상선의 온도구간이 가장 크나, 균열 위험도는 1-2%일 때 가장 높은 위험성을 나타낸다.

3) 시효경화 합금인 AlMgSi와 AlZn4.5Mg 경우 용접 균열이 발생하기 쉬우며, 이를 방지 하기 위하여 약간 합금 성분이 높은 용접 재료를 사용하기도 한다.

4) 가공 경화 합금이나, 시효 경화 합금의 경우

열영향 부위에서 재결정이 일어나거나, 석출입자들의 조대화가 일어나, 강도는 감소하고, 반대로 연신율은 증가한다.

5) AlMgSi 합금과 같은 인공 시효 합금의 경우 용접 열영향 부위의 부식 저항성이 감소하게 된다. AlZn 4.5Mg1 경우도 동일하나, 용접후 재 인공시효 처리를 하게 되면 부식 저항성은 증가하게 된다. 순수 알루미늄이나 비 시효처리 합금의 경우는 부식저항성이 감소하지 않는다.

6) AlMg 4.5Mn 합금의 경우 매우 높은 입열량에 따른 낮은 냉각은 결정입계에 결정입계 석출물(Mg₂Al₃)을 형성하기 때문에 응력 부식 균열의 원인이 된다.

7) 가스 용접이나 수동봉 용접의 경우 열영향 부위가 보호 가스 용접보다 클 뿐만 아니라, 용접봉에서 오는 Flux 잔류물 때문에 부식저항성이 감소하게 된다.

3. 가스메탈 아크 용접(GMAW)

3.1 용적이행 상태에 따른 분류

GMAW(MIG) 방법은 일반 Steel 용접시와 마찬가지로 용적이행 상태에 따라 Spray Type, Globular Type, Short Circuit, Pulsed Type으로 나뉘어진다. 이들 중 알루미늄 용접시에는 Spray Type 용적이행이 가장 많이 사용되며, Short Circuit Type 이나 Globular Type은 알루미늄 용접에서 거의 사용되지 않는다. 이에 비해 Pulsed Type은 용접품질이 우수해 최근 많이 도입되고 있다.

3.1.1 Spray Type 용적이행

이 Type 용적이행은 잘 알려진 바와 같이 용접 도중 용적이 모재와 용접재료 사이에 Short Circuit을 형성하지 않고 매우 미세한 방울 형태로 이행하는 것을 말한다. 용접도중 Spray Type 이행이 일어나기 위해서는 용접전류가 특정값을 넘어야 한다. 그림 1에는 용접 Wire 직경에 따른 Spray Type을 얻기 위한 용접전류를 보여주고 있으며 특별한 경우를 제외하고는 이 Spray Type 범위에서만 작업이 가능하다.

용접전류를 임계 용접 전류 이하에서 설정하게 되면 Short Circuit Mode로 변화하게되어 용접재료와 모재가 완전한 녹지않아 충분한 용융풀이 형성되지 않게 된다. 또한 Short Circuit Mode에서는 아크가

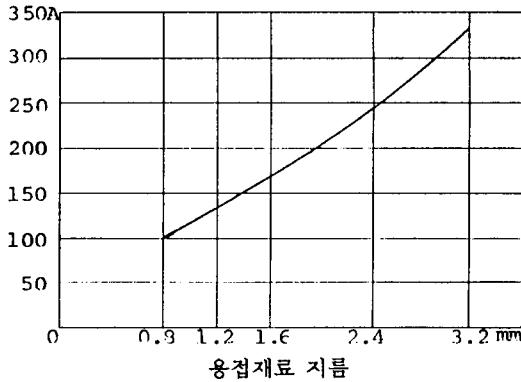


그림 1. Spray Type 용적이행을 얻기 위한 용접 전류

단속적으로 일어나기 때문에 알루미늄 합금의 용접에서 중요한 Cleaning 효과가 나타나지 않게 된다.

Spray Type 경우 용접전류가 너무 높게되면 Arc가 비산되어 오히려 용입이 알아지는 경우도 발생한다. 특히 이러한 현상은 개선 형상이 좁은 경우에 발생하기 쉽다. 예를 들면 두께 8mm이하의 얇은 알루미늄 용접시 용접전류를 너무 높게 되면 용접열에 의해 모재의 변형이나 용락현상이 발생하며, 용접전류를 약간 낮추면 용입이 부족한 경우가 발생한다. 이 경우 용접전류를 Spray Type이 일어날 수 있는 최저 전류를 선택하면, 용입이 깊고 좋은 품질의 용접부를 얻을 수 있다.

3.1.2 Globular Type 용적이행

Globular Type 용적이행은 Spray Type에 비해 굵은 용적이행이 일어나며, 알루미늄 용접에서는 매우 드물게 사용한다. 사용 용접전류는 Spray Type 경우보다 약간 낮으며, 아크도 매우 불규칙적이다. 비교적 용입도 얇고, 입열량도 Spray Type 보다 낮아 일반적으로 3 mm 이하의 판재용접에 사용된다.

3.1.3 Pulsed Type 용적이행

이 방법은 주로 두께 4 mm 이하의 판재용접을 위해 개발되었으나 최근 전자 제어부분의 기술개발에 따라 비교적 두꺼운 판재에도 적용이 가능하게 되었다.

그림 2은 Pulsed Type의 용접시 시간에 따른 전류변화 곡선과 이에 따른 용적이행 상태를 나타내고

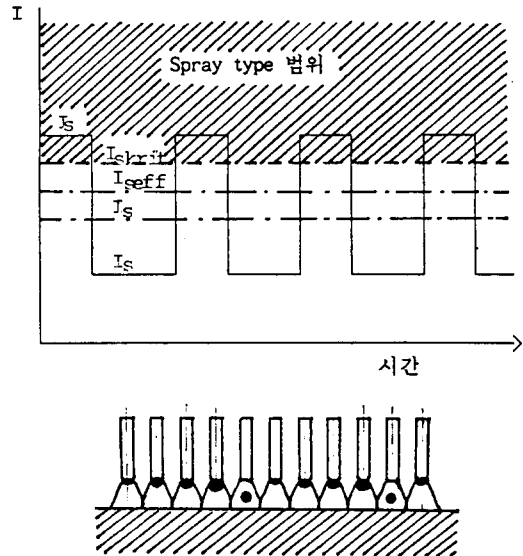


그림 2. Pulse Type 용접전류 및 용적이행 형태

있다. 본 Process의 원리는 Spray Type을 얻기위한 높은 전류를 Pulse 식으로 주면서, 기본전류는 낮은 전류로 유지하는 것이다. 이 방법을 사용하면 모재와 용접재료 사이에 Short Circuit는 발생하지 않으면서도 안정한 아크를 유지시킬 수 있다. 즉 낮은 전류로 용가재를 가열하여 반 용융상태로 만든 다음, 높은 전류로 실제 용적 이행을 유도하게 된다.이렇게 함으로써 비교적 굵은 용적이 이행되게 된다.

Spray Type 경우 매초당 200 정도의 용적 이행이 일어나게 되나, Pulsed Type에서는 약 50~100 정도의 용적 이행만 일어나게 된다. 전체 평균 용접전류는 순수 Spray Type 경우보다 낮다.

Pulse Type 용접이 일반적이 MIG 용접에 비해 다음과 같은 장점이 있다.

1) 동일한 지름의 용가재로 보다 얇은 판재를 용접할 수 있다. 다른 말로는 같은 두께의 판재에서 굵은 용가재를 사용할 수 있다. 굵은 용가재의 경우 용가재 자체의 가격이 낮을 뿐만 아니라, 송급성도 우수하고 Torch Tip에서의 전류이행도 순조로운 장점이 있다.

2) 용접시 주 용접 불량인 기공을 줄일 수 있다. 용접기공의 감소는 Pulse와 Pulse 사이에 용융 Pool이 안정되어 가스의 자연방출이 일어나기 쉽기 때문이다. 또 다른 이유로는 앞에서 설명한 바와 같이 굵은 용가재를 사용할 수 있어 기공의 원인이 되는 용가재의 표면 오염이 적기 때문이다.(부피에 비해 표면

적이 작다)

3) 초층의 용접품질이 우수하다. 그 이유는 Pulse의 세기에 따라 용적수와 크기를 조절할 수 있기 때문이다.

4) 용접자세에 큰 영향을 받지 않고 용접이 가능하다.

5) 입열량을 줄일 수 있기 때문에 용접변형이나 잔류응력을 줄일 수 있다.

3.2 용접장치

그림 3에는 일반적으로 사용하고 있는 MIG 용접기의 대체적인 모양을 나타내고 있다. 용접기는 직류전원, 제어기, 용가재 공급장치, 냉각장치, 보호가스 및 유량조절기 등으로 구성된다. 전원은 일반 MIG용 전원과 마찬가지로 정전압 특성을 가지고 있다. 두꺼운 모재의 경우 대전류 용접을 행하며, 이 경우는 정전류 Type의 용접전원을 사용하면 좋은 품질을 얻을 수 있다. 용접용 Torch는 용가재를 공급하는 역할을 하며, Nozzle을 통하여 보호가스도 공급하는 역할을 한다. 또한 사용 용가재에 따라 가스 혹은 수냉을 위한 냉각장치도 포함된다.

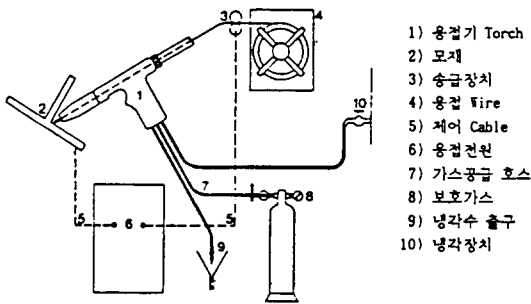


그림 3. GMAW 용접기의 대체적인 구성도

용접재료는 Spool 형태로 생산되어 Wire 송급장치에 의해 용접 Tip 까지 송급된다. 그림 4에는 Wire 송급장치의 형태를 보여주고 있다. 그림 (a)의 경우는 주 송급장치와 20 m 정도 떨어진 곳에 보조 송급장치가 있어 용접장치로부터 멀리 떨어진 곳에서도 용접을 할 수 있는 System을 보여주고 있다. (b)의 경우는 보조 송급장치 없이 주 송급장치에서 직접 용접 Tip에 Wire를 송급하게 되어 있다(Push Type 송급장치). 알루미늄 용접재료는 Steel에 비해 강성이

약하기 때문에 송급도중 꺾어져 송급불량 현상이 나타나기 쉽다. 따라서 Torch Cable은 3 m 정도가 적당하다. Push Type 송급장치 경우의 송급불량 상태를 줄이기 위한 방법이 (c) 혹은 (d) 방법이다. (c) 방법은 소형 Spool을 직접 용접 Torch에 장착하는 형태이며, (d) Type은 용접 Torch에 소형의 송급장치를 추가로 부착한 형태이다(Push pull Type).

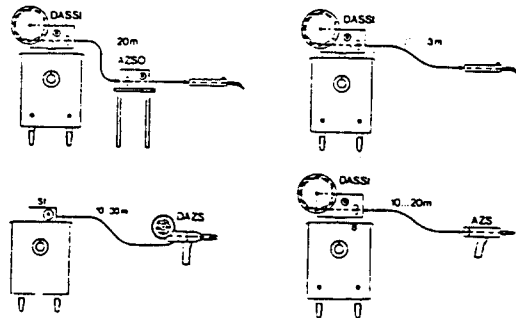


그림 4. 용접재료 송급 장치의 형태

3.3 용접부 개선형태

알루미늄 MIG 용접을 위한 개선은 두께에 따라 달라지며, 표 2에 대표적으로 나타내었다. I 개선은 경우에 따라 10 mm 까지 가능하기도 하나 대부분 경우 6 mm 이하에서 적당하다. V 혹은 Y 개선은 초층부분이 겹쳐서 용접되기 때문에 고품질의 용접부가 요구될 때 흔히 사용된다.

3.4 용접재료

알루미늄 합금의 MIG용 용접재료는 TIG에 사용되는 재료와 동일한 재료를 사용한다. 모재와 같은 성분을 가진 용접재료를 사용하는 것이 원칙이나, 합금원소가 Mg인 5000계 알루미늄의 경우, 용접시 Mg이 산화와 기화등으로 소모되기 쉬워 용접재료를 모재보다 Mg 량이 약간 많은 재료를 사용하기도 한다. 가장 많이 사용되는 용접재료는 5% Mg가 포함된 용접재료이다.

가능한 한 직경이 큰 용접재료를 사용하는 것이 유리하다. 그 이유는 굵은 재료의 생산가격이 낮은 뿐만 아니라 부피에 비해 표면적이 적어 표면산화물이 상대적으로 적게 용융되기 때문이다.

표 2. 모재 두께에 따른 용접 개선 형상



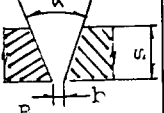


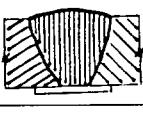
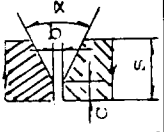
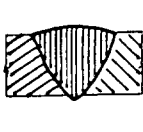
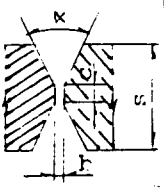
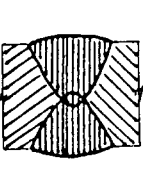
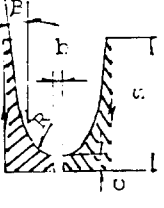
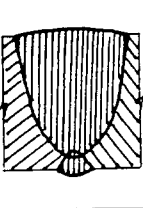

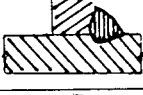


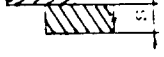

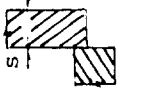
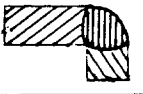
개선 분류	기 호	개선 형상	용접부 형상	두께	$\alpha \cdot \beta$	b (mm)	c (mm)
I 개선	II			≤ 6	-	≤ 1	-
V 개선	V			4 ... 40	60 ... 70	≤ 2	≤ 1
				> 10	12 ... 15	5 ... 8	-
Y 개선	Y			4 ... 20	50 ... 60	≤ 3	2 ... 4
X 개선	X			> 15	50 ... 60	≤ 2	≤ 3
U 개선	U			15 ... 30	12 ... 15	≤ 2	2 ... 4
필렛				> 3	90	-	-
양면 필렛				> 4	90	-	-
겹침 이음				> 3	-	-	-
모서리 이음				> 5	-	-	-

표 3. 수동 MIG 용접시 기준 용접조건(독일 알루미늄 Handbook)

두께 mm	용접전류 A	용접전압 V	용접재료지름 mm	용접속도 cm/min	Ar 소비량 ℓ/min	Pass 수
4	180	22	1.2	90	15	1
6	200	23	1.2	80	15	1
8	240	23	1.2	75	16	1
10	260	24	1.6	70	18	2
15	270	24	1.6	65	20	4-6
20	270	24	1.6	60	20	4-8
25	280	25	1.6	60	20	6-10

- 주 1) T Joint는 용접전류를 10-20% 높게 사용
 2) AISi 계통의 용접봉 보다 AlMg 계통의 용접봉 경우 전류가 약간 높다.
 3) 보호가스는 AlMg 계통이 AISi 계통보다 약간 많이 소모된다.
 4) He를 사용할 경우 Ar 보다 약 2.5~3배 정도 많이 소모된다.

3.5 용접조건

표 3에는 MIG 용접시 주로 사용되는 판두께에 따른 용접조건을 나타내었다.

본 표에 나타난 용접조건은 실제 용접시 표준조건 중의 일부이며, 실제 용접에 적용하기 위해서는 용접환경 및 각 용접모재에 따라 사전에 충분한 실험이 있어야 한다. 그 한 예로 Metal Handbook(ASM)에 나타난 용접조건인 경우 본 용접조건보다 용접전류는 약간 높고, 용접속도도 상당히 느린 조건을 제시하고 있다.

용접조건은 용접자세에도 영향을 받으며, 수직 용접부위는 수평용접부위 보다 약간 낮은 용접전류를 사용한다.

I Groove 경우 전진법으로 직진하게 되나 용접 Torch를 용융 Pool의 수직면에서 최대 15° 이상 기울이지 않아야 한다. X, Y Groove 경우 약간 Side로 운봉을 하게 되나 운봉정도가 크지 않아야 한다. 운봉이 너무 크게되면 원추형으로 형성되는 보호가스 범위를 벗어나게 되며, 보호가스의 역할이 충분하지 않아 산화물, 기공, 불완전 용입 등이 남게 된다.

용접속도는 용융물이 선행하지 않도록 충분히 빨라야 한다. 용융물이 선행하거나, 용접 Spatter 위에 용접하는 형태가 되면 불완전 용융이 나타나게 된다.

4. 알루미늄의 용접 불량

알루미늄합금의 MIG 용접시 발생하는 주 용접

불량은 기공, 균열, 불완전한 용입등이며 가끔 Inclusion 혼입 및 Cold lap 등이 발생할 수 있다.

4.1 기공

알루미늄합금의 용접시 가장 큰 문제점은 기공의 발생이다. 알루미늄합금의 용접부에서 발생하는 기공은 수소가 직접적인 원인임이 알려져있다.

4.1.1 기공발생기구

그림 5는 알루미늄에 대한 수소 용해도를 나타내고 있다. 여기서 알 수 있듯이 수소의 용해도는 온도가 증가함에 따라 증가하며, 고체상태에서 액체상태로 변화할 때 급격하게 증가하여, 용융점에서 액상의 용해도(0.7cc/100g)는 고상의 용해도(0.036cc/100g)에 비해 약 20배 크다. 따라서 용접 아크에 의해 용해된 알루미늄이 냉각되어 응고점에 도달하면 액상과 고상의 용해도 차이에 의해 응고된 용접금속은 과포화 상태가 된다. 과포화 수소의 일부는 용접 금속의 표면을 통해서 대기중으로 방출되며 일부는 알루미늄 합금의 빠른 냉각 속도에 의해 용접 비드에 잔류하여 기공을 형성하게된다.

Howden에 의하면 알루미늄이나 그 합금의 용접시 수소에 의한 기공 생성은 용융점에서의 고상과 액상의 용해도 차이뿐만 아니라, 아크에 의한 용융 Pool의 독특한 온도 분포에 기인 한다고 하였다. 아크열에 의해 용해된 용융 Pool에서의 온도 분포의 특징은 그림 6과 같다. 알루미늄과 같은 저용점을

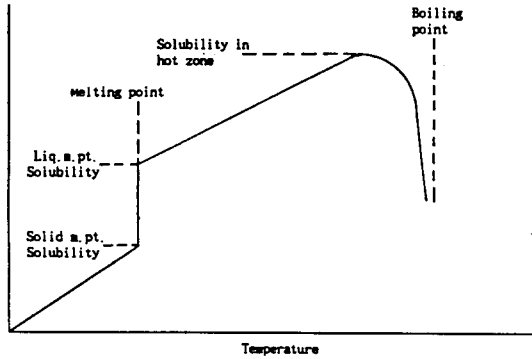


그림 5. 알루미늄의 속도에 따른 수소 용해도 변화

갖는 금속에서는 아크 밑 부분의 온도가 대단히 과열되어 수소의 용해도가 용융점에서 보다 훨씬 크며, 용융점에 비해서 약 70배의 수소를 함유하게 된다. 또한 아크 용접시에는 용융 Pool내에 화살표와 같은 Electromagnetic force가 작용하게 되며 이 힘에 의해 고온부에서 용해된 많은 양의 수소가 저온부로 분산되어 전체적으로 높은 수소농도를 이루게 된다. 따라서 냉각중에 액상에서도 수소기체 방울들이 형성되며 이들이 응고 후에 기공으로 남아있게 된다.

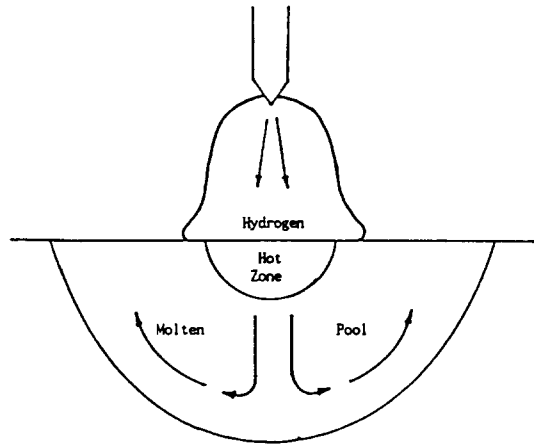


그림 6. Arc 용접시 용융 Pool내의 온도분포의 특징

4.1.2 기공 발생원과 방지대책

기공 발생의 직접원인이 되는 수소의 공급원은 아래 그림7과 같이 다양하다. 기공 생성의 억제를 위해서는 모든 원인을 총체적으로 고려해야한다.

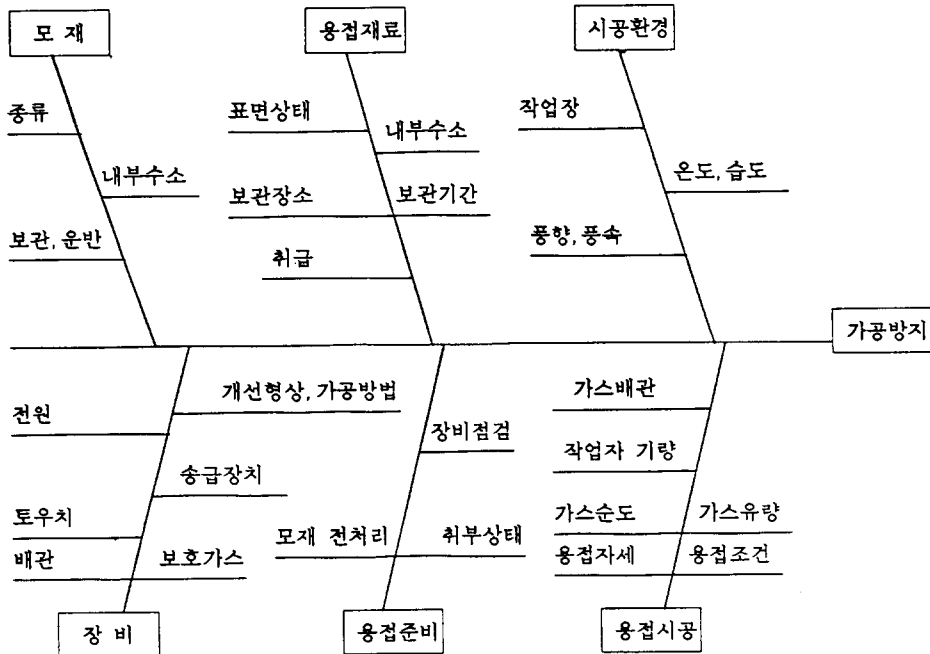


그림 7. 기공 발생에 영향을 주는 인자들

1) 모재 및 용접재료

일반적으로 모재중에 함유된 가스량은 보통 0.2~0.3cc/100g정도로 관리되므로 문제가 되지 않는다. 또한 용접재료 내부에 함유된 가스량도 극히 미미하므로 기공의 발생에 영향을 주지 못한다. 그러나 모재 및 용접재료 표면에 부착된 수분, 모재 표면의 기름 또는 페인트등의 이물질들은 기공발생에 무시못할 영향을 주는 것으로 알려져있다.

기공발생에 미치는 용접재료의 영향은 용접재료의 화학성분과 용접재료의 표면상태에 따라 결정된다. 그러나 상품화되어 있는 4종류의 용접재료를 통한 실험결과에 의하면 용접재료의 화학성분이 기공의 발생에 미치는 영향은 그리 크지 않았다. 화학성분 보다는 용접재료의 표면상태에 따라 기공발생 정도가 차이나는 것으로 판단되었다.

용접재료의 제조공정을 살펴보면, 용접재료는 성형한 후에 표면처리 단계를 거치게 되며, 이 공정은 재료 업체마다의 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 용접재료의 보관중에 외부로부터의 오염에 의해 용접재료 표면상태가 불량해 질 수 있다. 특히 용접재료의 성형과정중에 표면에 부착된 기계 가공유와 보관중에 표면에 부착되는 수분 및 각종 산화물들은 용접중에 분해되어 기공의 원인이 되는 수소의 공급원으로 작용하게 된다. 이를 평가하는 방법이 용착속속의 수소함량 측정시험이며, 그 결과 용접재료의 보관상태에 따라 수소함량이 0.88cc/100g부터 25.13cc/100g까지 큰 차이를 보이고 있었다. 특히 세경의 용접 Wire를 사용할 경우 표면적이 크기 때문에 그 영향이 크다. 모재는 일반적으로 용접전 산화피막 제거를 하는 반면에 용접재료는 제거하는 방법이 없다. 따라서 용접재료는 용접전 수분이나 수분생성물등에 오염되지 않도록 주의해야 하며 개봉후에는 즉시 용접을 하거나 적당한 방법으로 보호를 해야 한다.

2) 아르키메데스 속으로 주변 공기 유입

보호가스가 부족하거나 혹은 과대한 경우 용접 아크 분위기 속으로 주변공기가 유입된다. 따라서 방풍설비, 가스유량 증가, 적정 아크전압 관리등으로 아르키메데스 속으로 주변 공기가 유입되는 것을 최대한 억제해야한다.

즉 보호가스의 유량은 너무 적으면 보호가스 역할이 불충분하여 기공이 발생하기 쉬우며, 너무 많으면 Nozzle 앞에서 와류현상이 발생하여 기공이 발생한다. 따라서 유량은 적절히 조정되어야 하며,

Ar 보호가스 경우 20~25ℓ/분 정도가 적당하다. 보호가스로는 순수 Ar대신에 Ar+He의 혼합가스를 사용하면 같은 아크길이에서 용접전압을 높일 수 있기 때문에 열의 집중이 가능하여 기공발생을 줄일 수 있다.

3) 보호가스의 성분

보호가스에 함유된 수분과 수소함량을 최소화 해야한다. Ar 가스중의 H₂의 양은 10ppm이하가 되어야 하며, 수증기 분압도 15mmHg이하로 관리되어야 한다.

4) 용접 작업 환경

알루미늄 및 그 합금의 용접은 용접 작업장의 환경에 민감한 영향을 받는다. 기공발생에 영향을 주는 환경인자는 온도, 습도, 풍향 및 풍속등이 있다.

대기중의 상대습도가 높은 경우 모재 표면의 습기가 많아지게 되므로 예열(예열온도 60℃)을 하여 표면의 습기를 제거한다. 또한 용접 Wire는 용접 직전에 개봉해야 하며, 개봉 후 시간이 지난 용접 Wire는 재 건조 후에 사용하여야 한다. 그림 8은 용접 Wire를 개봉한 뒤 수일간 방치하였을 때, Wire를 건조하지 않고 용접한 경우와 80℃에서 2시간 건조 후 용접한 경우의 기공 발생 경향을 나타내고 있다.

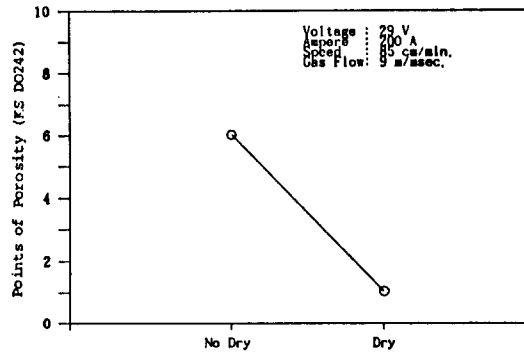


그림 8. 용접 Wire 건조와 기공 발생과의 관계

일반적으로 대기 중의 상대습도가 높아지면 용접부의 기공발생량이 증가하며, 특히 80%이상의 상대습도일 때 기공 발생량이 급격히 증가한다. 그림 9는 기공발생에 미치는 상대습도의 영향을 나타내고 있다. 상대습도가 75%이상이면 기공의 발생이 급격히 증가하고 있다.

그림 10은 기공발생량과 풍향 및 풍속과의 관계를 표시하고 있다. 여기서 용접선 방향과 직각 방향의

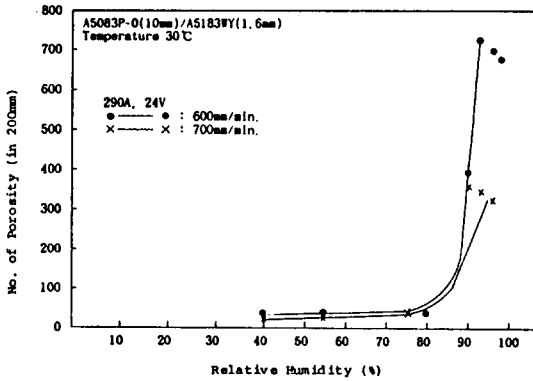


그림 9. 기공 발생수와 대기중의 상대 습도와의 관계

바람이 기공 발생에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 아래보기 자세보다 수평 자세에서 바람에 민감하다. 약 0.5 m/sec 이상의 풍속일 때 방풍막을 설치해야 한다. 특히 옥외 작업에서는 바람의 영향을 최소화 할 수 있는 대책이 꼭 필요하다.

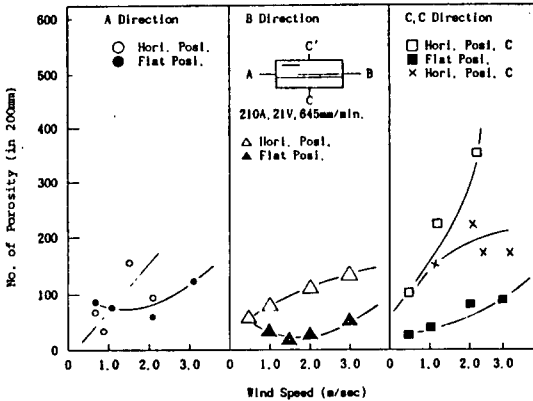


그림 10. 기공 발생에 미치는 풍향과 풍속의 영향

5) 용접 조건

기공 발생에 영향을 주는 용접 조건은 용접입열량, 최고온도 및 냉각속도 등이며 이들은 서로 상관관계를 갖고 있다. 따라서 하나의 변수가 바뀌게 되면 다른 요인들이 함께 변화한다. 이들 중에서 기공발생에 직접적인 영향을 주는 인자는 냉각속도이며 이는 용접 전류, 용접 전압, 용접 속도, 예열 온도와 모재의 두께 등에 의해 결정된다. 즉 용접 전류, 용접 전압 및 예열 온도가 증가하면 냉각속도는 느려지고, 용접

속도와 모재두께가 증가하면 냉각속도는 빨라진다. Saperstein에 의하면 냉각속도가 아주 느리면 수소가 용접 비드를 통해 외부로 방출될 시간적 여유가 충분하므로 기공의 농도가 낮아지고, 반대로 매우 빠르면 기공으로 수소가 확산하거나 Pore끼리 충돌할 시간적 여유가 없으므로 기공의 농도가 낮아진다. 냉각속도가 너무 빠르지도 너무 느리지도 않을 경우 기공의 성장이 극대화 되어 기공의 농도가 높게된다. 따라서 적정한 용접조건을 선택하는 것이 무엇보다 중요하다. 그림 11은 기공발생량과 용접전압의 관계를 나타내며, 그림 12는 기공 발생에 미치는 용접전류의 영향을 보여주고있다. 따라서 용접전압은 낮을수록, 용접전류는 높을수록 기공발생량이 작아지게 된다.

용접전압의 영향에 대해서는 상반된 보고가 있다. 이는 용접전압이 단순히 용접Wire의 돌출길이에 관계되는 것이 아니라, 용접전원 및 보호가스의 성분과 관계있기 때문이다. 즉 He 가스를 사용할 경우 동일한 돌출길이에 높은 전압을 사용할 수 있기 때문에 기공을 줄일 수 있다. 또한 전압을 높이면, 입열량이 높아져 냉각속도를 낮추어 기공발생을 줄일

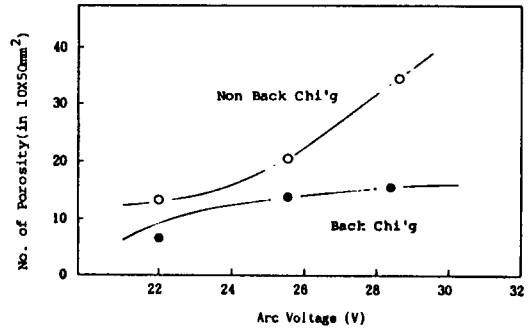


그림 11. 기공 발생에 미치는 용접 전압의 영향

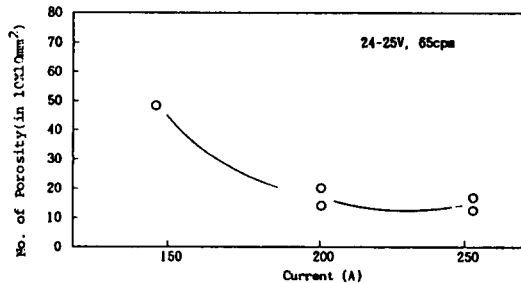


그림 12. 기공 발생에 미치는 용접 전류의 영향

수 있으나, 다른 한편으로는 돌출길이가 길어져 아크가 불안정하여 기공발생을 유도할 수 있다.

4.2 용접 균열

알루미늄 합금에서 용접시 발생하는 균열은 기공과 함께 가장 큰 문제이다. 알루미늄 합금의 용접부에서 발생하는 대부분의 균열은 고상선 근방이나 그 이상의 온도에서 발생하는 고온 균열로서 용융부와 열영향부에서 발생하며 100% 입계 균열(intragranular crack)이다.

인성저하 균열도 용융부와 열영향부에서 발생하며 대부분 입계 균열이지만 가끔 입간 균열형태를 보여 줄 경우도 있다. 고온 균열의 발생기구에 대한 여러 가지 학설이 있으나 공통적인 것은 고상선 부근에서 결정립사이의 액상이 소량으로 되는 시기에 균열이 생성되는 것이다. 용융부의 온도가 액상선을 지나면 수지상정이 생성되고 온도가 내려가면서 수지상정은 성장한다. 고상선에 가까워지면 액체의 양은 감소하게 되고 이런 액체가 수지상사이에서 액막으로 존재하는 단계에 이르게 된다. 이때 주어진 응력이 낮을 지라도 수상정 사이의 좁은 구간에서는 높은 응력이 적용되어 균열이 발생하게 된다.

알루미늄합금은 큰 열팽창계수를 가지므로 응고시 수축량이 많아 수축 변형량이 크다. 따라서 균열의 발생이 용이해지게 된다. 공정합금인 알루미늄합금에서 용융부 외에 부분 용융부나 열영향부에서도 결정입계에 액막이 존재할 때 고온균열의 발생기구처럼 균열이 발생한다. 이러한 액막은 저융점의 석출물이나 저융점의 공정조성이 편석되어있는 결정입계나 아입계가 용접열에 의해 용융될 때 생성된다. 또한 다층 용접시에도 선행된 용착금속의 가장자리 부위가 후행하는 용착 패스의 용접열에 의해 결정입계나 저융점의 개재물이 용해되어 액상막을 형성하여 고온 균열이 발생하게 된다.

용접 균열에 가장 크게 영향을 미치는 것은 모재와 용접재료의 화학성분이다. 합금 성분과 합금 양에 따라 알루미늄 합금의 용접 균열 감수성은 그림 13과 같다.

일반적으로 결정립이 미세할수록 균열 감수성이 낮아지는데 결정립이 작을수록 액막에 미치는 수축 응력이 낮아지기 때문이다. 결정립 미세화제인 Ti, Zr, Ti+B이 첨가되면 균열 감수성이 낮아진다.

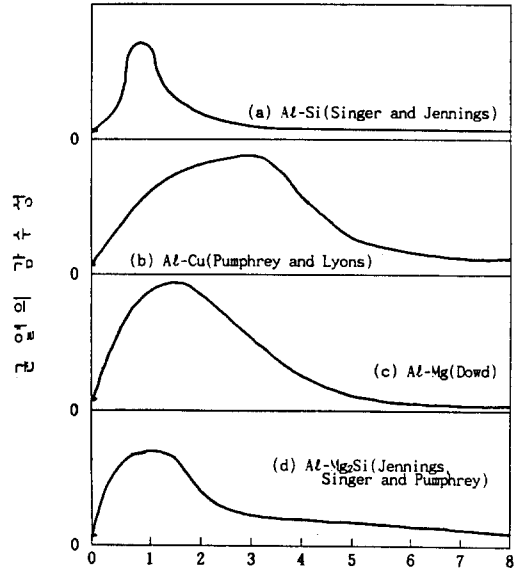


그림 13. Al 합금의 용질농도와 용접 균열의 감수성

4.3 불충분한 용입(lack of fusion)

용접도중 용융물이 선행하거나, Spatter위나 불충분한 Cleaning후에 용접하게 되면 불충분한 용융이 나타날 수 있다. 용합 불량은 박판에서는 문제되지 않으나 후판의 다층용접시 산화피막과 이물질들이 충분히 제거되지 않으면 불충분한 용융불량이 일어날 수 있다. 알루미늄은 열전도도가 좋기 때문에 용접 중 열집중이 이루어지지 않으면 강용접에서 보다 쉽게 용융불량이 발생한다.

4.4 개재물 혼입(Inclusion혼입)

산화물은 일반적으로 보호가스가 부족하거나, 보호가스의 와류에 따른 외부공기의 혼입 등에서 발생할 수 있다. 매우 큰 크기의 개재물은 용융 Pool의 교반에 의해서 발생할 수 있다. 용접 도중 가끔 구리 개재물도 발견되는데 이는 용융 Pool에 용접 Tip이 접촉하여 발생할 수 있다. I Groove에서는 초층에서 청정효과의 부족 때문에 산화물 혼합물이 발견될 수 있다.

표 4. 알루미늄 합금의 모재 및 용접부 강도 기준 (1~10mm 두께)

합 금 종 류		인장 강도 (kg/mm ²)	용접 재료	용접부 강도 (kg/mm ²)
AlMgMn	F18 연한 상태	18-22	AlMg5	18-20
	F21 반 경화	21-25	AlMg5	19-21
	F26 경화	26-30	AlMg5	20-22
AlMg4. 5Mn	F27 연한 상태	27-36	AlMg5	27
	F31 경화 상태	31-37	AlMg5	> 28
AlMgSi	F21 자연시효경화	21-28	AlSi5	> 16
	F28 인공시효경화(1)	28-34	(AlMg5)	> 19
	F32 인공시효경화(2)	26-30		> 19
AlZnMgI	F22 연한 상태	22	AlMg5	22
	F32 자연시효경화	32-36	AlMg5	> 26
	F36 인공시효경화	36-40	AlMg5	> 28
AlMg3	F18 연한 상태	18-22	AlMg5	18
	F21 반 경화	21-25	AlMg5	18-20
	F26 경화	26-30	AlMg5	19-22

5. MIG 용접부의 강도

일반적인 알루미늄 용접부와 마찬가지로 MIG 용접부의 용접강도는 알루미늄 합금의 종류에 많은 영향을 받는다.

가공경화에 의해 강도가 향상된 모재는 용접열의 영향을 받은 열영향부에서 가공경화 효과가 없어져 강도가 감소되며, 시효경화 합금은 과시효가 일어나거나 혹은 용접시 충분한 용체화 처리가 되지 않아 강도가 감소하게 된다.

설계시에는 알루미늄 합금에 따른 용접부의 강도 저하를 충분히 고려하여야 한다. 표 4에는 주요합금의 모재강도와 용접부 강도를 대비하여 나타내었다. 특히 AlMgSi계통의 시효합금의 경우 용접부의 강도가 급격히 감소됨을 알 수 있다.

용접부에 포함된 기공이 용접부 강도에 미치는 영향은 알루미늄 합금에 따라 달라지나, 미세한 기공이 균일하게 분포될 경우는 큰 영향을 주지 않는다. 일반적으로 작은 기공일 경우 기공이 8%가 넘게되면 강도와 연신률이 급격히 감소하게 된다. 피로강도는 연구자들마다 의견이 조금씩 다르다.

기공의 크기는 강도 및 연신률에 결정적인 영향을 미친다. 기공의 크기가 0.4mm 이하인 경우 강도는 큰 변화를 보이지 않으나, 기공이 1.6mm가 되면 10% 이상 감소되며 단면 감소율은 45% 이상 감소하게

된다는 보고도 있다.

실제 구조물처럼 피로시험시 용접부의 여성부분을 그대로 둔채 시험하게 되면 피로강도는 기공의 유무에 따라 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 여성부분을 가공한 시편으로 시험하게 되면 기공이 존재하는 경우 피로강도는 매우 낮아지게 된다. 이러한 차이는 여성부가 남게되면 피로강도에 영향을 미치는 응력집중부가 기공부 보다는 여성부가 되기 때문이다.

6. 결 언

본 고에서는 알루미늄 합금의 용접시 가장 많이 사용되는 GMAW방법의 특성 및 용접시 발생할 수 있는 용접결함에 대하여 간단히 기술하였다. 특히 본 보고서에서는 전문적인 기술보다는 알루미늄 용접을 적용하고자 하는 현장 기술자를 대상으로 기본적인 용접조건, 용접 불량원인 그에 대한 대책만 언급하였다.

참 고 문 헌

1. ASM, Metals Handbook Ninth Edition, Vol. 6
2. Aluminium - zentrale, Der Aluminiumfachman, Aluminium - Verlag GmbH, 1978

3. 이창희, 장래웅, 알루미늄 합금의 용접특성 : Part I 균열 및 기공, 대한 용접학회지 10권 3호, (1992). 9.1
4. 이창희, 장래웅, 알루미늄 합금의 용접특성 : Part II 열영향부의 특성, 대한 용접 학회지 11권 11호. (1993. 3)
5. 김종희, 알루미늄 후판 MIG 용접 결함방지 대책, 계명대학교 발표자료, (1993). 11.20
6. Konrad Primke, Fachkunde fuer Schweisser, Band 3 Aluminium schweisser, Veb Verlag Technik Berlin, (1983)
7. Paul. B. Dickerson, Bob Irving : Welding Aluminium, It's not as a difficult as it sounds, J. welding. (1992. 4). P45
8. 현대 용접기술 대계 Vol 13, 알루미늄과 그 합금의 용접, 산보출판, 1981, 水野政夫의 2인 공저