工學碩士 學位論文

중첩 펄스 MIG용접에 의한 아연도금강판 용접의 파형제어와 용접특성에 관한 연구

指導教授 趙 相 明

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2004年 2月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

金 起 廷

金起廷의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2004年 1月 15日

主　　審　　工學博士 金 雨 烈 (印)

委　　員　　工學博士 趙 相 明 (印)

委　　員　　工學博士 李 秉 雨 (印)

목 차

A Study on The Waveform Control and Welding Characteristics of Galvanized Carbon Steel Sheets in Welding for Wave Pulse MIG Welding

Ki-Joung Kim

Department of Materials Processing Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

The wave pulsed MIG welding process of new current waveform control to switch over unit pulse conditions(pulse current, pulse duration) in the fixed cycle was developed and its effect were investigated for zinc coated steel.

However, a significant amount of zinc in galvanized sheet steel is burned off in the area of welds. Therefore the welding method is needed to reduce the heat input.

Variable-polarity AC wave pulse MIG welding alternates between DCEP(Direct Current Electrode Positive) and DCEN(Direct Current Electrode Negative). DCEN is higher wire melting rate than DCEP, while lower temperature of droplet than DCEP.

In AC wave pulse MIG welding, for fixed welding current, wire melting rate increases as the EN-ratio increase. For fixed wire feed rate, welding current decreases as the EN ratio increases.

In this research, we studied for the AC wave pulse MIG arc welding to decrease the heat input by using solid wire of wire diameter 1.0mm.

As the result of increasing EN-ratio, melting ratio of base metal and burning off of zinc were reduced in galvanized sheet steel.

Key Words : Galvanized sheet steel, DC wave pulse MIG welding, AC wave pulse MIG welding, heat input, burn through, EN ratio, Waveform control

제1장 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

아연 도금 강판 용접은 현재까지 저항용접이 주종을 이루고 있으나 최근 차량, 건축 등의 분야에서 아크용접을 적용하는 곳이 늘어나고 있으며, 특히 차량 등에서 두께 1mm정도의 박판을 적용하는 경우가 많이 있다.

일반적인 아연 도금 강판의 아크용접시 용접조건이 적절해도 도금층의 용융 및 증발에 따라 아연이 기화하여 용융지 중에서 기포를 형성하여 기공(Blow hole)이나 피트(Pit)가 발생하기 쉽다. 또한, 아연가스는 아크를 불안정하게 하고 스패터(Spatter)나 아연 흄(Fume)이 증가하는 요인이 된다.[1 3)]

이러한 아연도금강판의 용접부에 결함이 발생하는 원인은 크게 용접 중 대기의 혼입에 기인한다는 결과[5)]와 아연도금강판 중에 존재하는 수소에 의한 것이라는 결과가 보고되어 있으며, 그 외에도 이러한 결함 자체의 발생 원인에 관한 연구[6 7)]도 일부 수행되어 있지만 아직 명확하게 밝혀진 것은 아니다. 또한 용접결함의 발생을 최소화시키기 위한 노력으로서, 용접시공조건에 대한 검토[1 3,8)], 전용 용접재료 및 도포제 개발[4)] 등 다방면에 걸친 많은 연구가 수행되어 개선을 도모하고 있지만 아직 미해결된 부분이 많다. 특히 국내에서는 아연도금강판의 수요가 증가함에도 불구하고 이 분야에 대한 연구가 아직 미흡하고, 자동차사의 경우에도 대부분 협력회사를 통하여 용접함으로서 문제의 제기 및 해결을 위한 노력이 전혀 이루어지지 않고 있는 실태이다.

또한, 일부 연구에서는 두 개의 다른 펄스조건을 변환하는 새로운 전류파형 제어의 중첩 펄스 MIG 용접법을 개발하여 박판 용접의 품질개선에 응용하고 있다.[1)] 그러나 DC 중첩 펄스를 기공 감소를 위해 적용한 연구보고는 있지만 극성가변 AC 중첩 펄스 용접을 박판에 적용하면서 용락과 기공을 동시에 방지하기 위한 연구보고는 찾아보기 어려웠다.

극성가변 AC 중첩 펄스용접은 두개의 서로 다른 DCEP(Direct Current Electrode Positive, 와이어 플러스)와 와이어의 용융 속도가 높지만 용적의 보유 열량이 작은 DCEN(Direct Current Electrode Negative, 와이어 마이너스)을 주기적으로 반복하는 용접법이다.[12,16 18)]

1.2 연구목적

본 연구의 목적은 아연 도금 강판 용접에 있어서 입열량을 제어할 수 있는 중첩 펄스 MIG 용접법을 사용하여 모재의 입열과 기공을 최소화하는 것을 목적으로 하였다. 본 실험에서는 적절한 펄스 파형의 검토, DC 중첩 펄스 및 극성가변 AC 중첩 펄스 MIG 용접을 실시하여 비드외관과 단면 및 용접부 품질을 관찰하였다.

제2장 이론적 배경

2.1 GMAW의 원리와 용적의 이행현상

2.1.1 원리

GMAW(Gas Metal Arc Welding)는 소모전극을 사용하는 방법으로서 용가재로 작용하는 와이어를 일정한 속도(Wire Feeding Rate)로 용융지에 송급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하도록 하는 용접법이다. Fig. 2.1에서와 같이 연속적으로 송급되는 와이어는 높은 아크열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용융지로 이행되게 되며, 아크 기둥과 용융부위는 가스노즐을 통해 공급되는 보호가스(Shielded Gas)에 의해 주위의 대기로부터 보호된다. 이 용접법은 사용되는 보호가스의 종류에 따라 분류되고 있는데, Ar과 같은 불활성 가스를 사용하는 경우를 MIG(Metal Inert Gas)용접, 순수 탄산가스만을 사용하는 경우를 CO_2용접, CO_2와 Ar가스를 혼합하여 사용하는 경우를 MAG(Metal active Gas)용접 이라고 한다.

본 연구에서는 Ar+6%O_2를 사용하여 1pulse 1drop을 위한 전류 파형을 설계하였다.

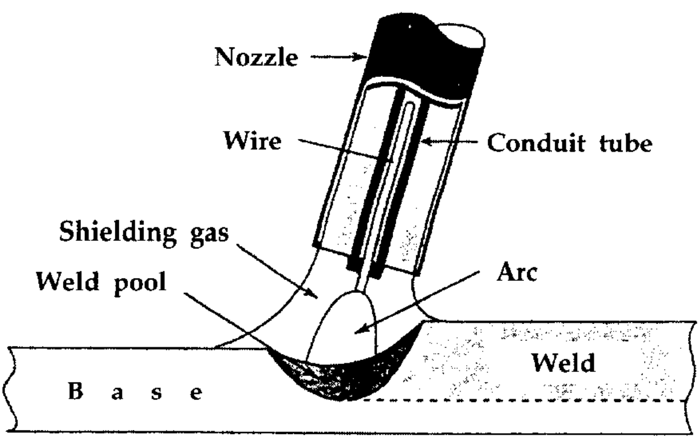


Fig. 2.1 Arc principle of GMAW

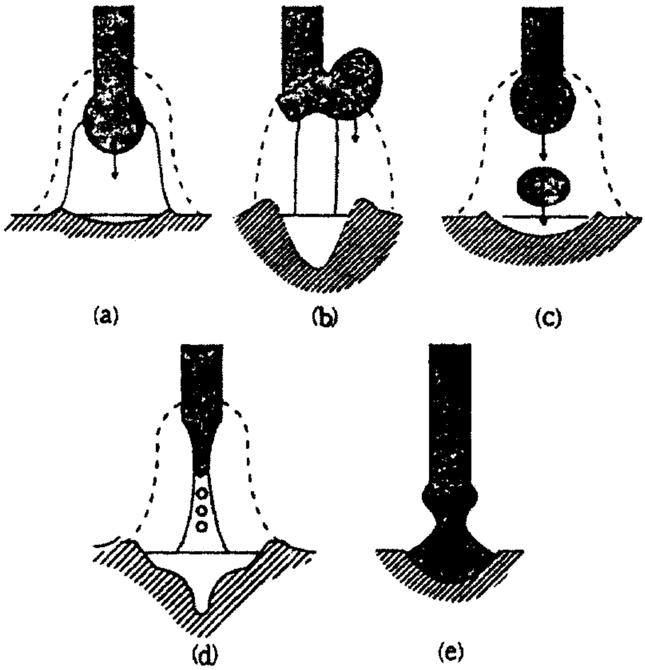
2.1.2 용적의 이행현상

GMAW에 있어서 용적이행이란 와이어에서 용융된 금속이 용융지로 이행하는 현상을 말하는 것으로서 단순히 금속이행(Metal transfer)라고도 한다. 용적이행은 용접재료, 보호가스, 용접조건 등에 따라 여러 가지 형태로 나타난다. Table 2.1은 국제 용접학회(IIW)에서 분류하고 있는 용적이행 형태를 나타낸 것이고, Fig. 2.2는 이들 중 GMAW에서 나타날 수 있는 용적이행 형태를 나타낸 그림이다. GMAW에서 용적이 이행하는 현상은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로, 와이어 선단에서 생성된 용적이 와이어로부터 이탈되어 금속 방울상태로 아크 기둥을 거쳐 용융지로 이동하는 형태로서, 자유 비행 이행이라고 한다. 이것은 다시 이행하는 용적의 크기에 따라 입상 용적이행과 스프레이 이행으로 나눌 수 있다. 두 번째는 와이어 선단에서 형성된 용적이 용융지와 접촉하여 가교(bridging)를 형성하여 이행하는 형태인데, 이 때 전기적인 단락이 발생하기 때문에 단락이행이라고도 한다.

이 중에서 본 연구에 적용되는 용적이행은 스프레이 이행으로 분류되는 프로젝티드 이행이다. Ar가스를 주성분으로 하는 MIG 또는 MAG 용접에서 는 용접전류가 증가함에 따라 특정 전류에서 용적의 크기가 급격히 변화한다. 이러한 전류를 천이전류라고 하는데, 용접전류가 천이전류보다 낮을 때는 입상 용적 이행이 일어나고, 천이전류 이상일 때에는 용적의 크기가 와이어 직경과 비슷하거나 작은 용적이 초당 수백회 정도의 횟수로 이행하는 현상이 일어난다. 이러한 이행형태를 스프레이 이행이라고 한다. 스프레이 이행은 전류의 크기에 따라 프로젝티드 이행, 스트리밍 이행, 로테이팅 이행으로 나누게 되는데, 프로젝티드 이행은 천이 전류 직상의 범위에서 나타나는 용적이행으로 용적의 크기는 와이어의 직경과 비슷하고, 아크는 매우 안정적이며 소음도 적다. Fig. 2.3은 프로젝티드 이행일 때의 아크 현상과 용적의 이행에 대해서 나타낸 것이다.

Table 2.1 The classification of transfer of molten metal (IIW)

Transfer of molten metal	Example
1) Free flight transfer	
· Globular transfer	
- Drop transfer	GMAW (low current)
- Repelled transfer	GMAW (CO_2)
· Spray transfer	
Projected transfer	GMAW (MAG, MIG)
Streaming transfer	GMAW (MAG, MIG)
Rotating transfer	GMAW (MAG, MIG)
· Explosive transfer	SMAW
2) Bridging transfer	
· Short circuiting transfer	GMAW, SMAW
· Bridging without interruption	
3) Slag protected transfer	
· Flux-wall-guided transfer	SAW



(a) Drop transfer (b) Repelled transfer (c) Projected transfer
(d) Streaming transfer (e) Short circuiting transfer
Fig. 2.2 Various type of metal transfer in GMAW

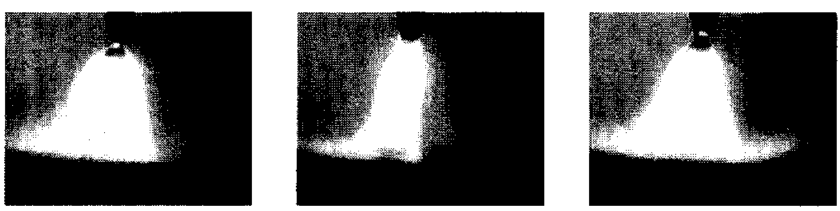


Fig. 2.3 Arc phenomena and transfer of droplet at projected transfer

2.2 아크 용접의 극성에 대한 특성

아크는 Fig. 2.4에서 나타낸 바와 같이 양극 전압강하, 음극 전압강하, 아크기둥 전압강하의 3구역으로 구분된다. 이중 양극에서의 전압강하는 1~10V정도이며, 음극에서의 전압강하는 10~20V정도이다. 전자의 무게는 양자에 비해 훨씬 가볍기 때문에 아크에서 전류의 흐름은 전자에 의하여 유지된다. 양극과 양극 전압강하 구역은 아크에서 발생한 전자를 받아들여 아크를 유지시키는 역할을 한다.

음극의 온도가 증가하면 음극 표면에서는 전자가 방출되는데, 이와 같이 고온에서 전자가 방출되는 현상을 열전자 방출현상이라 하며, 음극에서의 전류밀도는 아래 식에 의하여 나타낸다.

$$J = AT^2 exp(-e\phi/KT) \qquad \text{(2.1)}$$

여기서, J : 전류밀도

T : 온도

ϕ : 일함수

A : 상수

일함수는 음극의 표면에서 전자를 방출하기 위하여 요구되는 전압으로서 재질에 따라 다르다. 음극의 온도가 일정하다면 재질의 일함수가 낮을수록 많은 전자가 방출되어 전류밀도는 증가한다. 용접에서 사용되는 높은 전류를 얻으려면 고온이 요구되며 고온에 의하여 전극으로부터 전자가 방출되려면 전극의 재료로 탄소나 텅스텐과 같이 고온에서 녹지 않는 재질이 요구된다.

철강이나 알루미늄 등의 소모성 와이어를 음극으로 이용하는 경우는 용접에 필요한 전류를 얻기 위한 온도에 도달하기 전에 와이어가 용융 및 이탈되므로 Eq.(2.1)을 이용할 수 없다. 이와 같은 소모성 와이어를 사용하는 경우의 전자 방출 현상을 비 열전자 방출이라 하며 원리는 다음과 같다. 고온에서 음극이 용융되면 음극의 표면이 산화되어 산화막이 형성된다. 일반적으로 산화막의 일함수는 금속에 비해 낮기 때문에 전자는 Fe나 Al과 같은 금속보다 방출에 소요되는 에너지가 작은 산화막에서 방출된다. 그러므로 낮은 온도에서도 전자가 발생하게 되어 용접에 필요한 높은 전류를 얻을 수 있다.

일반적으로 음극에서의 전류 밀도는 10^6 - 4×10^8 A/cm^{2}정도로서 양극의 전류밀도(10^2 - 10^5 A/cm^2)보다 높으며, 음극에서는 동시에 많은 수의 방출점이 생성되고 이런 방출점에서는 이온 충격에 의해 산화물이 파괴되는 상당히 짧은 시간동안에는 능률이 좋은 전자방출이 지속되지만, 그것이 끝나면 다른 방출점으로 빠르게 이동한다. 따라서 양극과 달리 고정되어 있지 않고 음극 표면상을 불규칙적으로 빠르게 이동하는 특성이 있다. 그러므로 아크는 집중되지 못하고, 와이어 선단으로부터 뒤쪽으로 상당한 거리까지 이동하므로 거시적으로는 와이어 끝부분 일부를 아크가 둘러싼 형태로 되어 있고, 와이어 용융속도는 양극보다 빠르지만 아크는 불안정하며 용적의 온도는 양극에서보다 낮아진다.

양극의 역할은 전자를 발생시키는 음극에 비하여 단순하며 양극점은 고정되어 있다. 또한, 전자가 충돌하면서 보유한 에너지를 방출하기 때문에 양극에서 발생하는 열량은 음극에 비하여 높은 반면에 와이어의 용융속도는 음극에서보다 낮다.

Fig. 2.5는 와이어를 양극으로 사용하는 DCEP(Direct Current Electrode Positive)의 경우와 와이어를 음극으로 사용하는 DCEN(Direct Current Electrode Negative)의 경우를 개략적으로 나타낸 것이다.

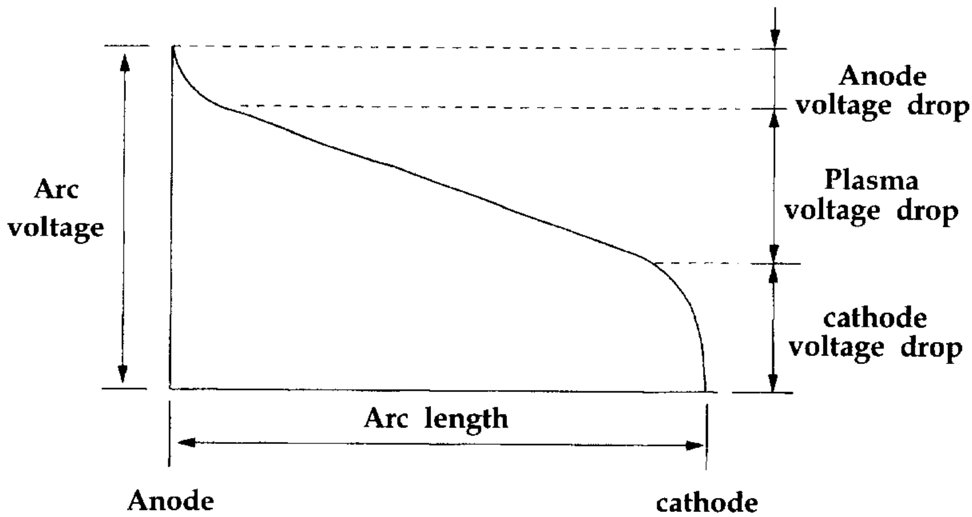


Fig. 2.4 The characteristic of arc Voltage

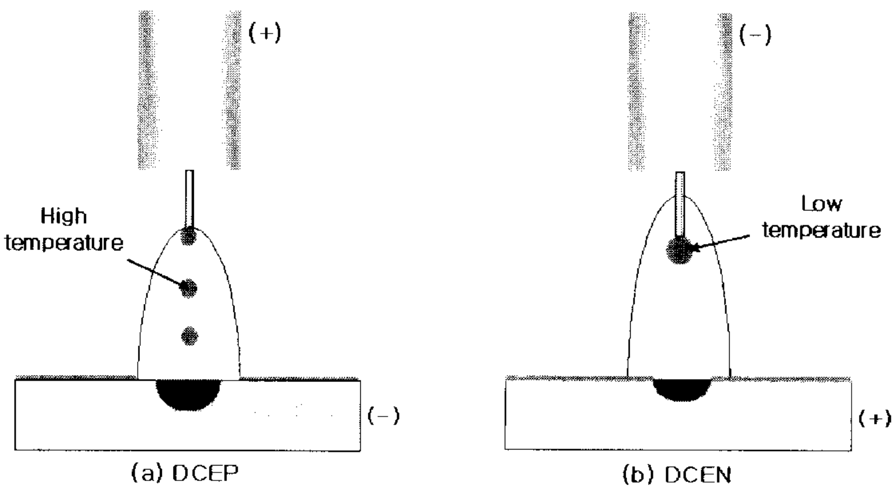


Fig. 2.5 Schematic of DCEN and DCEP

2.3 EN 극성비의 정의

AC 펄스 파형은 DCEP와 DCEN을 주기적으로 반복하는 것으로서 Eq.(2.2)와 같이 정의되는 EN 극성비를 적용하여 와이어 용융속도 및 입열량을 제어하였다. Fig. 2.6은 AC 펄스 파형을 개략적으로 나타낸 것이다.

$$\text{EN극성비} = \left[\frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100(\%)\right] \quad \text{------------}(2.2)$$

여기서, I_{EN} : DCEN구간의 평균전류(A)

I_{EP} : DCEP구간의 평균전류(A)

T_{EN} : DCEN구간 유지시간(s)

T_{EP} : DCEP구간 유지시간(s)

Fig. 2.7은 Tomoyuki Ueyma 등이 연구한 Al 용접시의 EN 극성비에 따른 와이어 용융속도를 나타낸 것이다. 동일한 용접 전류에서는 EN 극성비가 증가할수록 와이어 용융속도가 높아지고, 동일한 와이어를 용융시키기 위해 필요한 용접 전류는 EN 극성비가 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다.

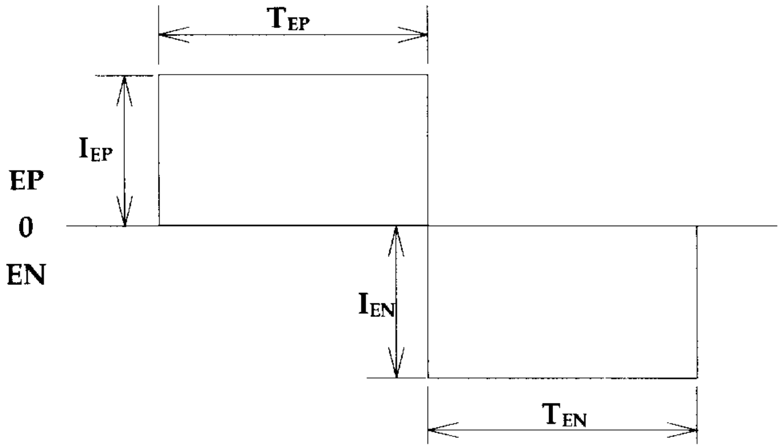


Fig 2.6 Schematic of EN ratio

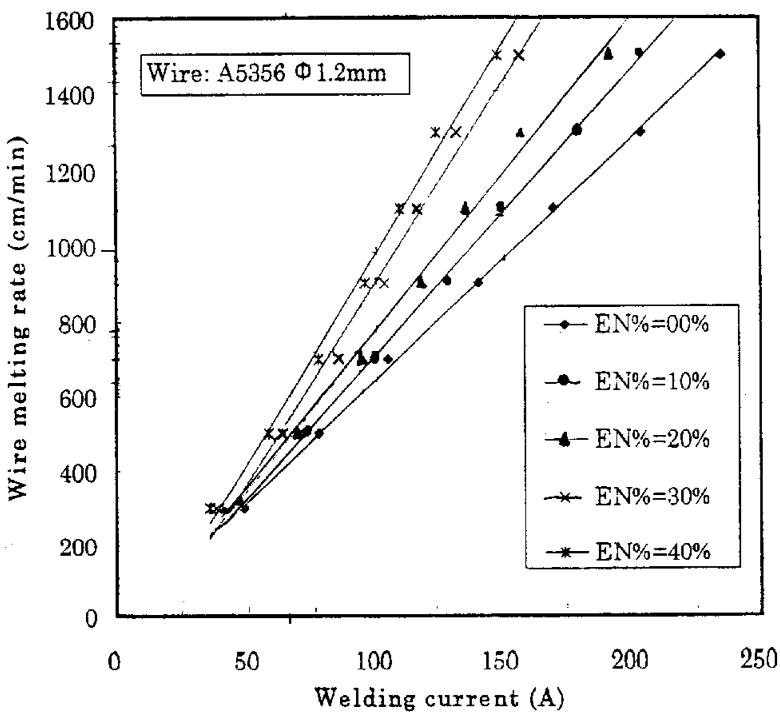


Fig. 2.7 Relationship between EN ratio and Al wire melting rate[11)]

2.4 아크 용접부에서 발생하는 결함의 종류 및 발생기구

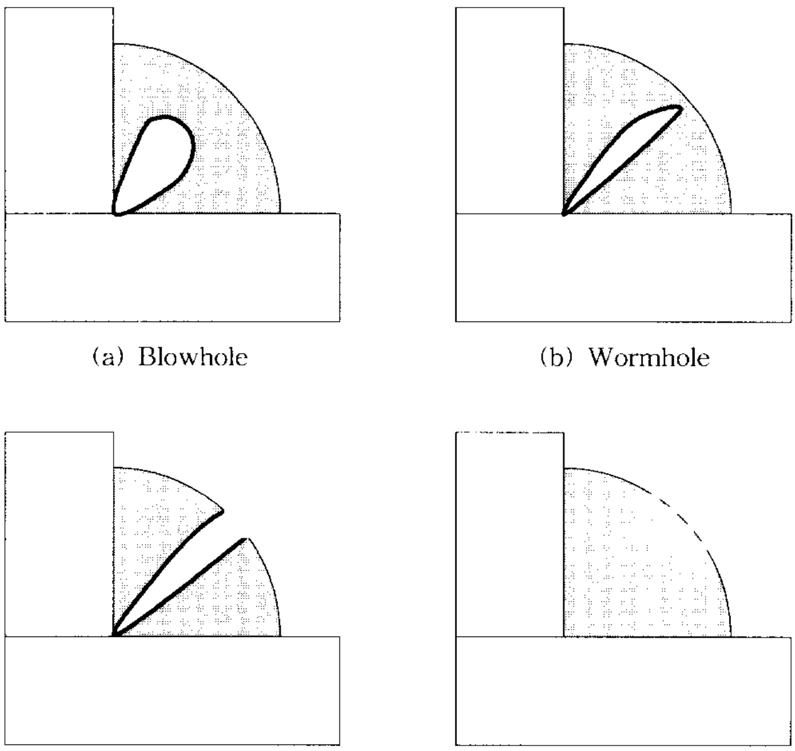
2.4.1 용접결함의 종류

표면처리강판 특히 아연도금강판을 겹치기 필릿용접하는 경우에는 용접부에 기공결함이 다발한다. 이 결함은 blowhole, pit, wormhole 등과 같이 용접시 용접부에서 생성하는 가스에 기인하는 것으로 용접금속의 내부 또는 용접비드의 표면에서 주로 발생한다.

Fig. 2.8은 대표적인 결함형태의 모식도를 나타낸 것이다. Blowhole은 용접금속 내부에 생성하여 잔존하는 것으로, 일반적으로 구상의 형태를 나타낸다. 이와 같은 blowhole 중 형태가 길고 좁은 형상을 나타내는 것을 wormhole이라고 부른다. 한편 이러한 용접금속 내부에 잔존하는 결함이 비드표면까지 성장하여 표면결함을 형성한 것을 pit라고 한다. 또한 pit 중에서도 날카로운 침으로 찌른 것과 같이 크기가 작은 결함을 pinhole이라고 부른다.

이 외에 용접금속의 응고시 수축에 의한 수축공이나, 미소공동에 가스가 차 생기는 불규칙한 기공도 있다.

통상 크기가 작고 소량의 blowhole은 용접 이음부의 특성에 그다지 영향을 미치지 않지만, pit 및 wormhole은 이음부의 수밀성과 기밀성을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 용접 후의 외관검사, X-ray 검사 등으로 용접부에 이러한 결함이 존재하는 것이 확인되면 보수 등을 통해 제거해야 한다.



(a) Blowhole　　(b) Wormhole

(c) Pit　　(d) Pinhole

Fig. 2.8 Schematic illustration of the various defect in lap jointed fillet weld

2.4.2 결함의 발생기구

일반적으로 용접부의 blowhole은 다음과 같은 거동으로 용접금속 중에 생성되는 가스에 의해 형성된 기포가 용접금속 내부에 잔존하는 것이라고 설명하고 있다.

1) 용접금속의 용융 중에 혼입되는 질소, 수소 등과 같은 가스는 온도가 저하함에 따라 용해도가 감소함으로 포화용해도 이상의 가스는 기체화 된다.

$$(2H \rightarrow H_2,\ 2N \rightarrow N_2)$$

2) 용융금속 중의 탄소가 산소와 결합하여 일산화탄소를 생성한다.

$$(C + O = CO)$$

3) 용융금속 중의 유황과 같은 불순물이 수소와 같은 가스와 화합하여 형성된다.

$$(S + 2H = H_2S)$$

4) 페인트, 기름, 아연도금 등의 성분이 용접 열에 의해 분해되어 가스화 된다.

$$(Zn \rightarrow Gas\ Zn)$$

지금까지 보고된 아연도금강판의 아크용접시 기공이 발생하는 기구는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 그 중 하나는 대기의 혼입에 의한 것으로, 아연의 폭발적인 연소 및 아연증기에 의해 아크 분위기가 산란됨으로써 대기가 아크분위기 중에 혼입되어 기공이 발생한다는 것이다.[5)]

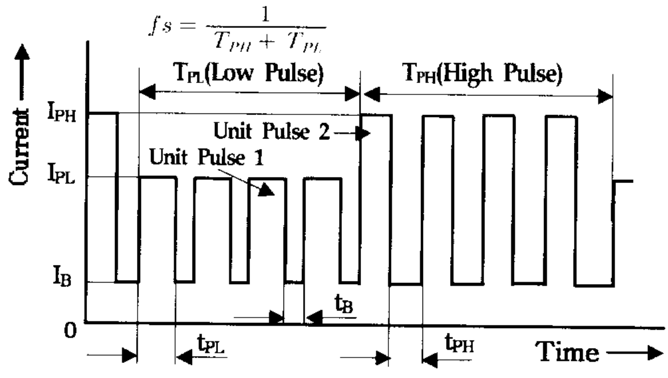
또 다른 하나는 아연도금강판 중의 수소에 의한 것이다. 즉, 아연도금강판의 Zn-Fe 합금층 중의 수소가 용접아크에 의해 급속히 가열·용융되어 용융금속 중으로 용해하고, 큰 스패터의 발생 및 용락 등에 의해 용융지가 열적으로 불안정하게 되면 응고가 불안정하게 됨으로써 수소가 안정하게 방출되지 못하기 때문에 용접금속 중에 기공이 발생한다는 것이다.[19)]

표면처리강판의 겹치기 필릿용접부에 발생한 blowhole 중의 가스를 gas chromatography 법으로 분석한 결과에 의하면, 질소가 약간 포함되어 있지만 수소가 주성분이라는 보고[19)]와 수소 및 질소가 검출되지만 소량이라는 상반된 보고도 있다. 또 blowhole의 내면을 SEM 관찰 및 EDX 분석한 결과 내면 벽에 아연 입자가 부착되어 있다는 보고[4)]도 있지만, 아연이 존재하지 않는다는 보고[19)]도 있어 아직 불명확한 점이 많다. 그러나 아연도금강판의 용접부에서 발생하는 blowhole과 같은 결함의 발생에 아연이 관련되어 있다는 것은 공통된 결과이다.

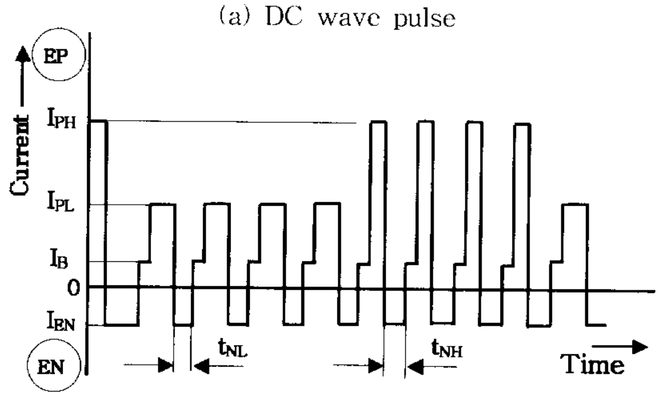
2.5 중첩 펄스 MIG 용접의 정의

중첩 펄스 MIG 용접은 펄스파형을 기본으로 하여 2종류의 unit 펄스를 사용하여 소정의 주기를 반복하는 용접법이다.

Fig. 2.9에 DC 중첩 펄스와 극성가변 AC 중첩 펄스파형과 표기법을 나타내었다.



(a) DC wave pulse



(b) AC wave pulse

- I_{PH} : Pulsed positive current of pulse condition H
- I_{PL} : Pulsed positive current of pulse condition L
- I_{EN} : Pulsed negative current of pulse condition
- t_{PH} : Pulsed positive duration of pulse condition H
- t_{PL} : Pulsed positive duration of pulse condition L
- t_{NH} : Pulsed negative duration of pulse condition H
- t_{NL} : Pulsed negative duration of pulse condition L
- T_{PH} : Duration of pulse condition H
- T_{PL} : Duration of pulse condition L
- I_B : Base current of pulse condition
- t_B : Base duration of pulse condition
- fs : Switching frequency of pulse condition

Fig. 2.9 Wave pulse current waveform and its notation

제3장 아연 도금 강판에 대한 DC 및 AC 중첩 펄스 파형의 적용 실험

3.1 서언

실험에 사용된 용접기는 극성가변 Al용 용접기로서 용접 전류 파형이 Al 와이어에 적합하게 설계되어 있다. 따라서 본 실험에 사용된 YGW 12에 적합한 전류 파형을 설계할 필요가 있다.

Matsui[1] 등의 연구에서는 DC 중첩 펄스을 적용하여 아연도금 강판에서 blowhole 발생의 저감 등에 관한 실험을 수행하였으나 AC 중첩 펄스를 적용한 실험을 하지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 YGW-12에 적합한 DC 및 AC 중첩 펄스 전류 파형을 설정하여 스패터가 없는 양호한 비드를 얻는 것을 목적으로 하였다.

DC 및 AC 중첩 펄스 파형에서 피크전류와 피크시간을 조절하여 1pulse 1drop의 스프레이 이행되는 파형을 설정하여 적절성을 평가하였다.

3.2 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 판두께 1mm의 용융 아연 도금강판(아연 부착량 양면 275g/m^2)을 사용하였고, 시편 형상을 Fig. 3.1에 나타내었다. 사용된 와이어의 종류는 KS YCW-12(JIS YGW-12) 직경 1.0mm 솔리드 와이어를 사용하였고, 보호가스로는 Ar+6%O_2 가스를 사용하였다.

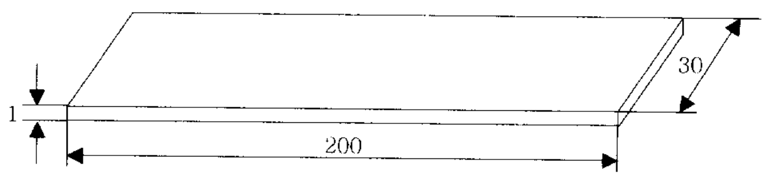


Fig. 3.1 Configuration of base metal

3.3 실험방법

본 실험에 사용된 용접법은 가스 메탈 아크 용접법(GMAW) 중 MIG용접법을 사용하여 bead on plate 용접하였다.

용접 실험을 위한 장치 구성도를 Fig. 3.2에 나타내었다. 용접전원은 정격용량 200A의 AC 중첩 MIG 인버터 용접전원을 사용하였으며, 용접 전류, 전압파형을 계측하기 위해서 아크 모니터링 시스템(WAM4000D)을 활용하였다.

Table 3.1은 용접 조건을 나타내는 것으로서 와이어 송급속도(wire feeding rate)는 76mm/sec로 일정하게 하였으며, 용접속도는 80cm/min, 컨택팁과 모재사이의 거리(CTWD)는 15mm, 진행각은 전진 10°로 일정하게 설정하였다.

본 연구에서는 AC 중첩 펄스 MIG 용접에서 단락이 없는 스프레이 이행을 하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 적절한 크기의 용적을 이행시키기 위해서 펄스 주파수를 먼저 결정하였다.

또한 아크 용접 모니터링 시스템을 사용하여 전류 및 전압, 주파수, 단락 시간비 등을 계측하여 파형의 적절성을 평가하였다.

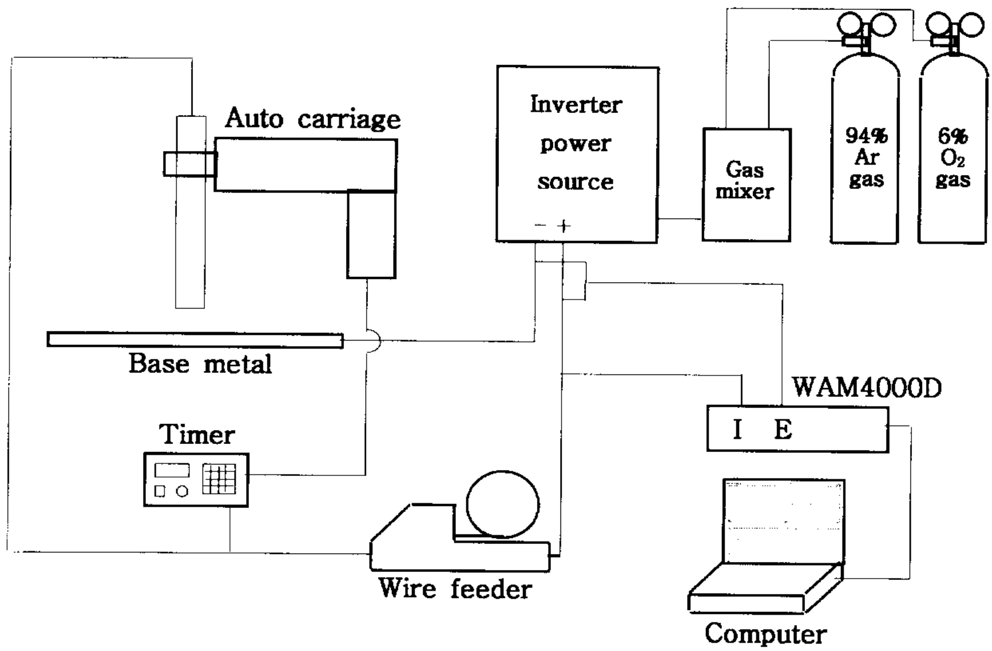


Fig. 3.2 Equipment for experiment

Table 3.1 Standard welding condition

Power source	200A inverter AC/DC pulse welding machine
Welding current	60A(setting current)
Welding voltage	16-24V
CTWD	15mm
Traveling speed	80cm/min
Switching frequency	5~30Hz(MAX)
Progress angle of torch	Forehand 10°
Welding wire	YGW-12(1.0mm)
Welding position	Flat(bead on plate)
Shielding gas	Ar+6%O_2(20 ℓ /min)

3.4 실험결과 및 고찰

3.4.1 펄스 주파수와 용적 크기의 관계

Fig. 3.3에서와 같이 펄스 용접에서의 용적이행은 피크 전류의 끝부분에서 발생하며, 베이스 전류 구간에서는 와이어의 용융은 일어나지만 용적이 이탈할 정도의 핀치력은 존재하지 않는다. 그러나 피크 전류에서 급격히 상승된 전류에 의한 전자기력 핀치력으로 인해 용적이 이행한다. 이렇게 한 번의 펄스 주기에 하나의 용적이 이탈하는 것을 1pulse 1drop이라고 한다.

본 연구에서 적용한 DC 및 AC 중첩 펄스 용접도 일반적인 펄스 용접과 마찬가지로 정상상태에서 단락이 없는 스프레이 이행으로 1pulse 1drop 하는 것을 목표로 한다. 따라서 와이어 송급속도가 정해졌을 때, 적절한 용적의 크기를 이행시키기 위해서는 그에 상응하는 펄스 주파수를 결정해야 한다. Eq.(3.1)은 용적크기와 펄스 주파수의 관계를 나타낸 식이다.

$$f_P = (Rw \times (\frac{D_w}{2})^2 \times \pi)/((\frac{Dd}{2})^3 \times \frac{4}{3} \times \pi) \qquad (3.1)$$

여기서, f_P : 펄스 주파수 (Hz)

R_w : 와이어 송급속도 (mm/sec)

D_w : 와이어 직경 (mm)

D_d : 용적 직경 (mm)

Eq.(3.1)에서 펄스 주파수는 용적 직경에 반비례하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.4와 Fig. 3.5는 DC 및 AC 중첩 펄스용접에서 주파수 변화에 따른 용적의 크기를 나타낸 것이다. 동일 와이어 송급 속도에서 주파수가 증가 할수록 이행되는 용적의 크기가 작아지는 것을 보여주고 있다.

Fig. 3.6과 Fig 3.7은 설정전류를 동일하게 유지하고 피크시간을 고정하였을 때 t_{PL}의 변화에 따른 펄스 주파수의 관계를 나타낸 것이다.

Fig. 3.6과 Fig. 3.7에서 t_{PL}이 증가함에 따라 펄스 주기가 길어져서 주파수가 감소되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.7에서 AC 중첩 펄스의 주파수가 DC 중첩 펄스의 주파수와 다르

게 나타나는 것은 펄스 전류에서 t_B와 t_N의 증가로 전체적인 펄스 주기가 증가하였기 때문이다.

따라서 tp를 기본 설정치에서 증가하게 되면 용적의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.4와 Fig. 3.5에서 용적의 크기가 와이어 직경과 같게 되는 주파수는 113Hz이지만 AC 중첩 펄스의 전류파형에서는 용접기 특성상 t_{PH}가 고정되어 있고 t_{PL}의 조정 범위가 한정되어 있었다.

따라서, 본 연구에서는 용적의 크기를 와이어 직경보다 약간 크게 하여 DC 중첩 펄스에서는 1.04mm, AC 중첩 펄스에서는 1.12mm로 설정하였다.

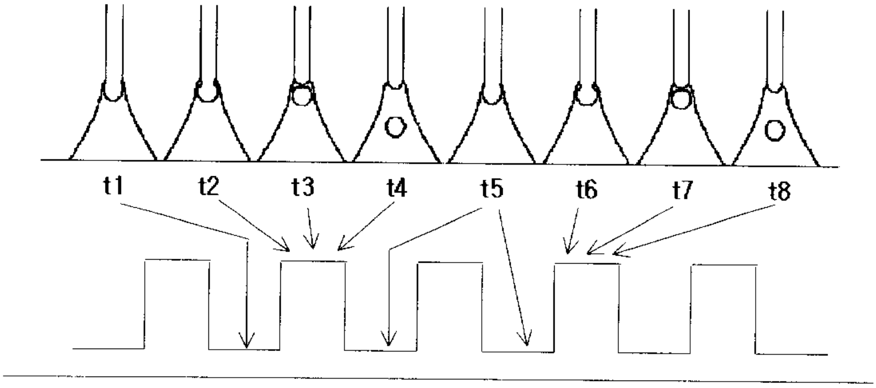


Fig. 3.3 Schematic of metal transfer on pulse welding

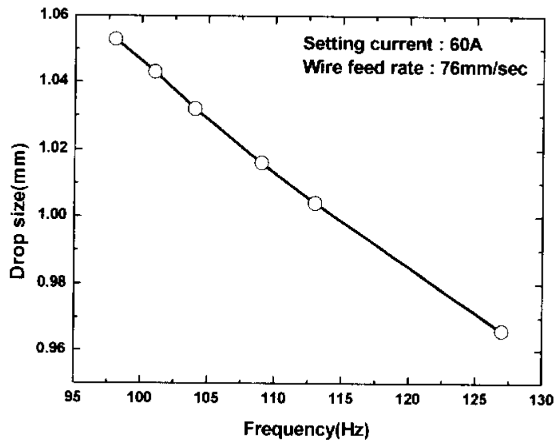


Fig. 3.4 Drop size by frequency in DC wave pulse MIG welding

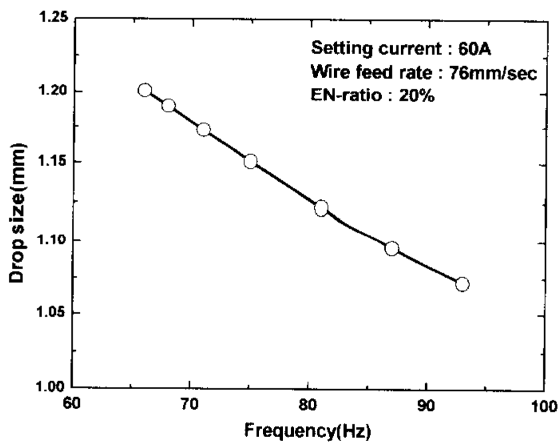


Fig. 3.5 Drop size by frequency in AC wave pulse MIG welding

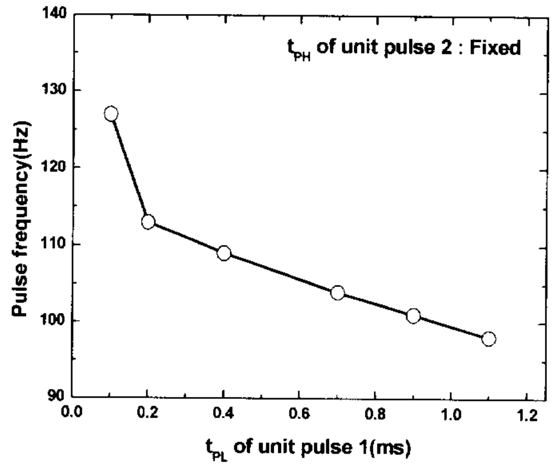


Fig. 3.6 Pulse frequency by t_{PL} of increase in DC wave pulse

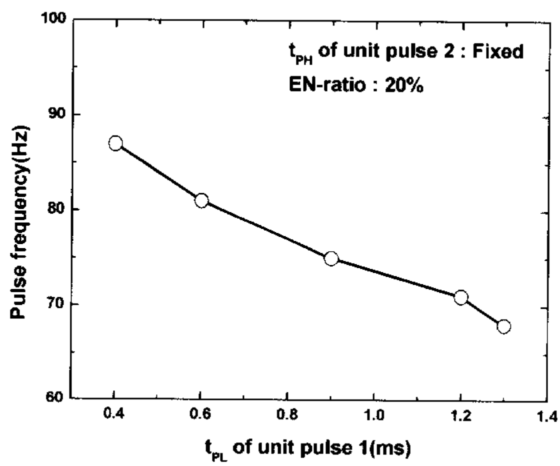


Fig. 3.7 Pulse frequency by t_{PL} of increase in AC wave pulse

3.4.2 DC 중첩 펄스 파형의 설정

Fig. 3.8은 unit 펄스 2의 I_{PH}, t_{PL}와 unit 펄스 1의 I_{PL}를 고정시키고 t_{PL}을 변화시켜 용접을 하였을 때 t_{PL}의 변화에 따른 단락시간비를 나타낸 그래프이다. t_{PL}이 증가할수록 단락비가 감소하다가 t_{PL} 0.7ms부터 단락시간비가 약 1% 정도로 일정하게 되는 것을 알 수 있다.

1pulse 1drop의 스프레이 이행이 되기 위해서는 단락의 발생이 없는 양호한 전류파형이 되어야 한다. 특히 피크전류 구간에서의 단락은 선행 펄스에서의 용적이 원활이 이행을 하지 못하여 후행 펄스의 피크전류 구간 중에 단락이 된 것으로 적절하지 못한 용적이행을 의미하며, 또한 단락 해소시의 큰 아크력으로 인하여 스패터 발생의 원인이 된다.

Fig. 3.9는 t_{PL} 변화에 따른 단락주파수를 나타낸 것이다. t_{PL}이 증가함에 따라 정상 단락수는 점차 감소하며 순간 단락수는 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

단락이 작다는 것은 스패터의 발생이 적고 용융된 와이어가 주로 스프레이 이행에 의해 용융지에 이행된다는 것을 의미하므로 본 실험에서 DC 중첩 펄스에 적합한 t_{PL}은 단락비가 가장 작은 0.9ms라고 판단된다.

Fig. 3.10은 DC 중첩 펄스용접에서 개선전과 개선후의 파형을 나타내었다. 용접기의 초기 설정 값인 t_{PL} 0.4ms에서 t_{PL} 0.9ms로 증가하였을 때 원활한 스프레이 이행이 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.11은 DC 중첩 펄스용접에서 t_{PL} 변화에 따른 비드외관을 나타낸 것이다. 용접기의 초기 설정 값인 t_{PL} 0.4ms 일 때 비드외관에서는 스패터가 많은 것을 관찰 할 수 있고, t_{PL}이 0.9ms일 때에는 스패터가 거의 없는 양호한 비드외관을 관찰 할 수 있었다.

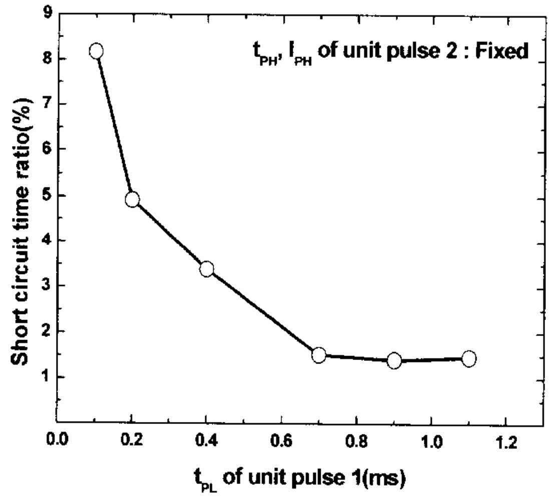


Fig. 3.8 Short circuit time by t_{PL} of increase in DC wave pulse

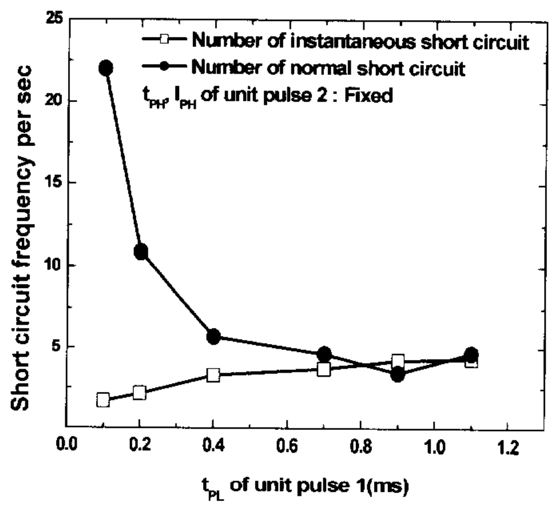
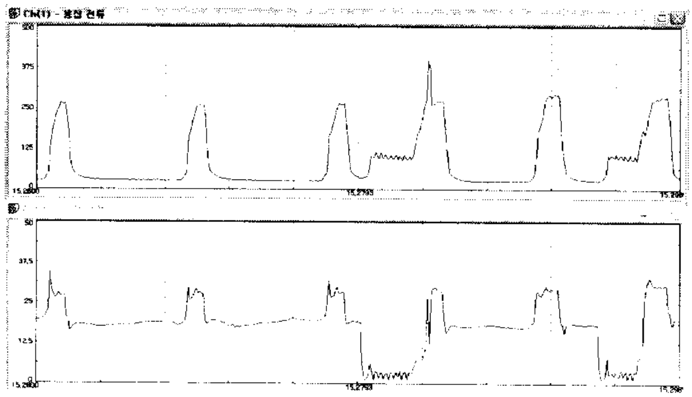
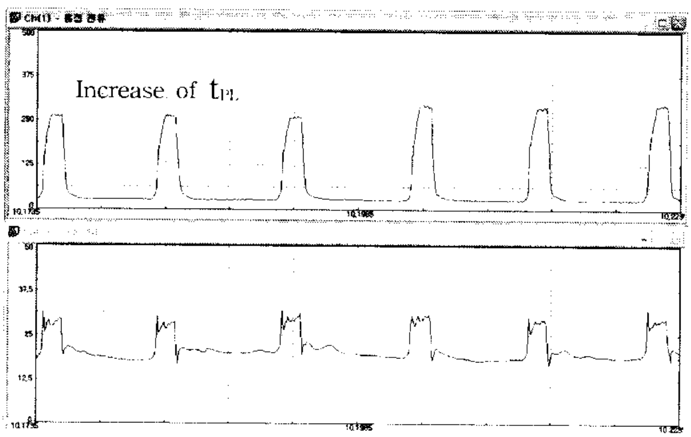


Fig. 3.9 Number of Normal short circuit and instantaneous short circuit by t_{PL} of increase in DC wave pulse



(a) Before improvement



(b) After improvement

Fig. 3.10 Waveform at DC wave pulse
(Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)

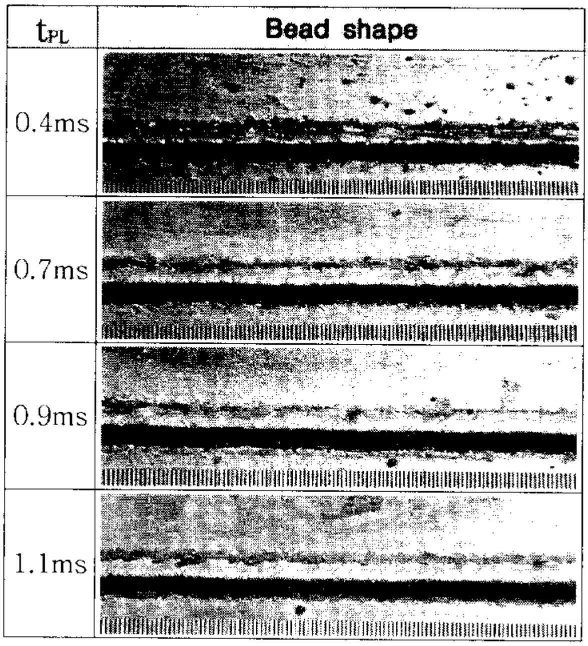


Fig. 3.11 Bead shape by t_{PL} in DC wave pulse MIG welding
(Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)

3.4.3 AC 중첩 펄스 파형의 설정

Fig. 3.11은 unit 펄스 2의 I_{PH}, t_{PH}와 unit 펄스 1의 I_{PL}을 고정시키고 t_{PL}의 증가에 따른 단락주파수를 나타낸 것이다. t_{PL}이 증가할수록 순간단락수는 점차 감소하며 정상 단락수는 t_{PL} 0.6ms에서 가장 작은 것을 알 수 있다. 순간단락이 작고, 정상 단락 및 장기 단락의 발생이 많다는 것은 원활한 스프레이 이행을 하지 못하여 단락이 많이 발생한다는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 단락 발생이 적은 t_{PL} 0.6ms가 타당하다고 판단되었다.

또한, 전술한 바와 같이 EN 극성비 20%일 때의 와이어 송급속도와 그에 따른 펄스 주파수를 결정하고, 용적 직경을 1.12mm로 설계하였다. 이것은 DC 중첩 펄스에서 설정한 용적의 직경 1.04mm보다 더 크다. 본 실험에 사용한 용접기에서 AC 중첩 펄스는 DC 중첩 펄스와는 달리 EN 전류 구간과 두개의 베이스 전류구간이 존재한다. 만약, t_{PL}이 변화할 경우 펄스 주기가 달라져서 용적의 크기가 동일하지 못하게 된다. 따라서, 펄스 주기가 항상 일정하게 즉, 용적의 직경이 항상 일정하도록 t_{PL}을 0.6ms로 고정시키고 I_{PL}만 변화하여 적절한 파형조건을 설정하였다.

Fig. 3.13은 t_{PL}을 0.6ms로 고정시키고 I_{PL}만 변화시킬 때의 단락주파수를 나타낸 것이다. I_{PL}이 증가할수록 정상 단락수는 감소하고 순간단락수는 증가하고 있다. 그러나, I_{PL} 350A이상에서는 모재에 용락이 발생하여 모재에 용락이 발생하였다. 이것은 모재에 과대한 입열량이 작용하였다고 판단되어 I_{PL}의 증가에 따른 입열량을 측정해 보았다.

Fig. 3.14는 I_{PL}의 증가에 따른 입열량을 나타낸 것이다. I_{PL}이 증가할수록 평균전류가 증가하여 입열량이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 입열량이 1150J/cm이상에서는 모재에 용락이 발생을 하였다. 따라서 본 실험에서는 용락이 발생하는 1150J/cm을 용락발생 입열량이라고 판단하고 1150J/cm이하에서 단락수가 가장 작은 I_{PL} 350A을 적정 조건이라 판단하였다.

Fig. 3.15는 t_{PL}의 증가에 따른 비드외관을 나타낸 것이다. t_{PL}이 0.9ms를 제외하고는 소량의 스패터가 발생하였음을 알 수 있다.

Fig. 3.16은 t_{PL}을 0.6ms로 고정하고 I_{PL} 변화에 따른 표면비드 및 이면비드외관을 나타낸 것이다. I_{PL} 350A일 때가 가장 양호한 비드 외관을 보이고 있으며 I_{PL} 390A에서 과대한 입열량으로 인해 이면비드에서 용락이 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 3.17은 개선전과 개선후의 AC 중첩 펄스 파형을 나타낸 것이다. t_{PL}과 I_{PL}의 증가로 원활한 스프레이 이행이 되는 것을 알 수 있다.

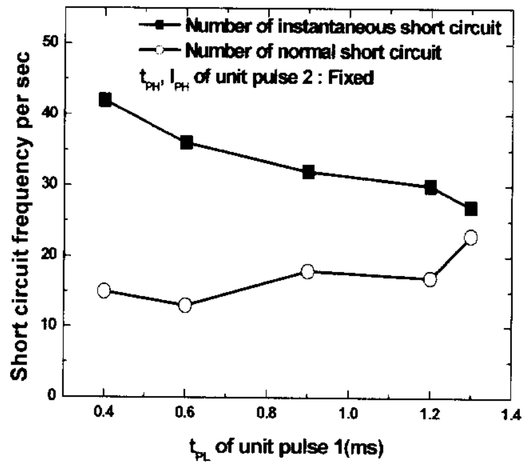


Fig. 3.12 Number of Normal short circuit and instantaneous short circuit by t_{PL} of increase in AC wave pulse(EN ratio 20%)

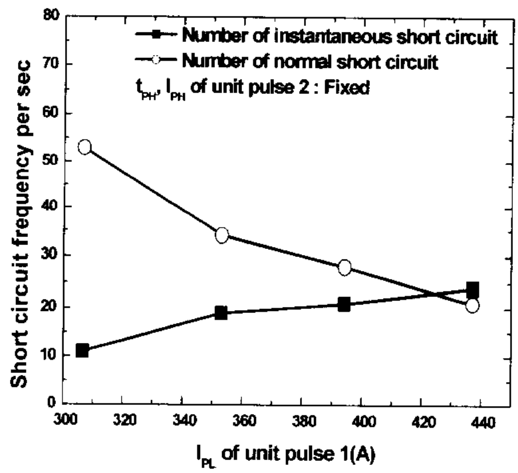


Fig. 3.13 Number of Normal short circuit and instantaneous short circuit by I_{PL} of increase in AC wave pulse(t_{PL} 0.6ms, EN ratio 20%)

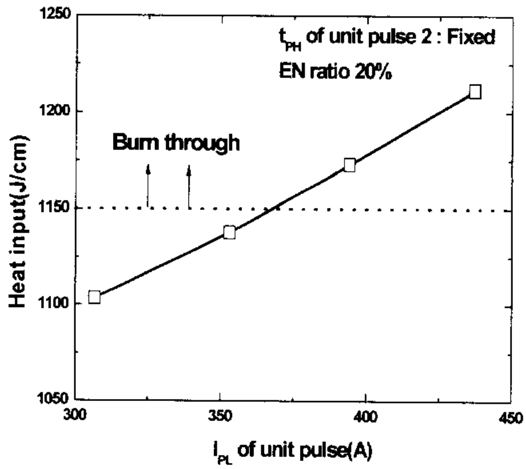


Fig. 3.14 Heat input by I_{PL} of increase in AC wave pulse(t_{PL} 0.6ms)

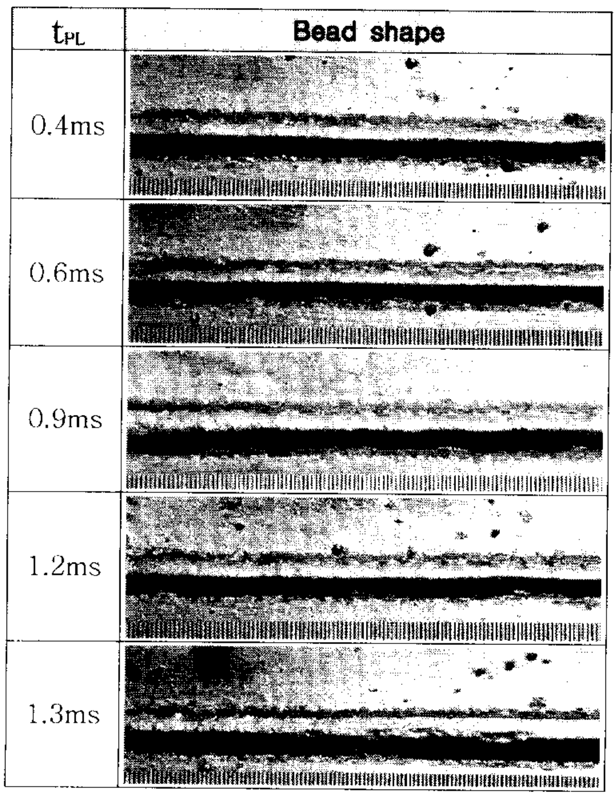


Fig. 3.15 Bead shape by t_{PL} in AC wave pulse MIG welding (Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)

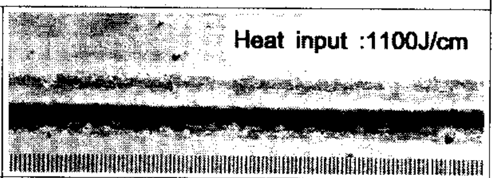
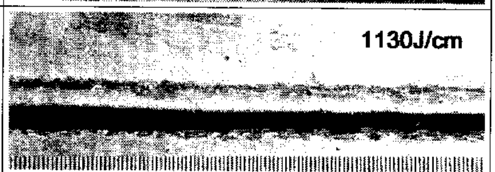
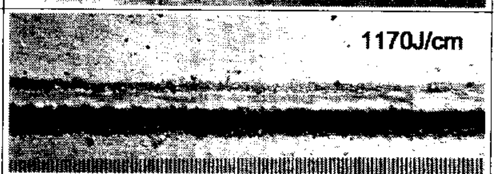
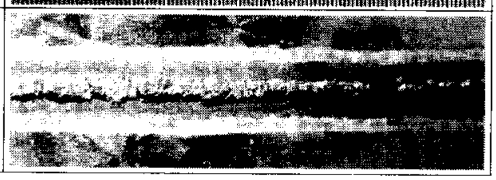
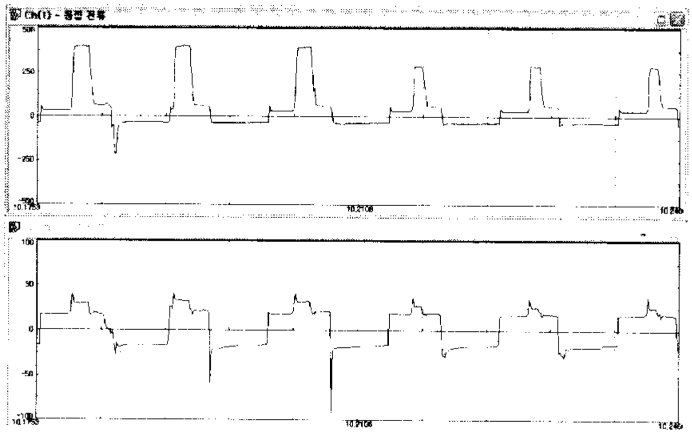
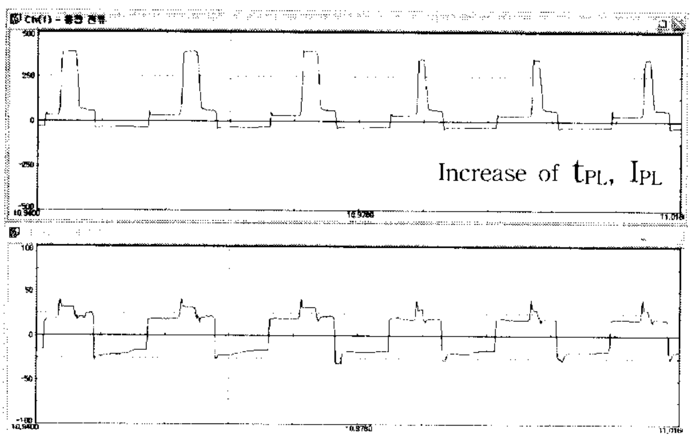
I_{PL}	Bead shape	
300A	Surface bead	
	Back bead	
350A	Surface bead	
	Back bead	
390A	Surface bead	
	Back bead	

Fig. 3.16 Bead shape by I_{PL} in AC wave pulse MIG welding (Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec, t_{PL} 0.6ms)



(a) Before improvement



(b) After improvement

Fig. 3.17 Waveform at AC wave pulse

(Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)

3.5 결언

Al용 용접기를 사용하여 YGW-12의 와이어에 적합한 파형을 설정하는 실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 주파수에 따른 용적의 크기 관계에서 주파수가 증가할수록 용적의 직경이 작아지는 것으로 나타났다.
2) DC 및 AC 중첩 펄스에서 평균전류를 동일하게 유지 하였을 때 unit 펄스 1의 t_{PL}을 증가시키면 주파수가 감소하는 것을 알 수 있었다.
3) DC 중첩 펄스에서 단락이 최소로 발생하며 스패터가 없는 조건은 t_{PL}을 0.9ms 로 설정한 조건의 파형이라고 판단된다.
4) AC 중첩 펄스에서 t_{PL}, I_{PL} 변화에 따른 비드외관 관찰에서 t_{PL} 0.6ms, I_{PL} 350A에서 스패터가 적고 용락의 발생이 없는 양호한 비드를 얻을 수 있었다.

제4장 아연 도금 강판 용접 특성에 미치는 실드가스 중 산소의 영향

4.1 서언

일반적으로 아연 도금 강판을 용접하게 되면 아연증기가 발생하여 아크가 불안정하게 됨으로써 spatter와 fume이 다량으로 발생하고, 불완전한 비드가 형성된다.

이러한 원인들을 해결하기 위한 방안으로 산업현장에서는 실드가스 중 O_2를 혼합하여 사용하고 있지만 O_2가 용접성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구나 보고는 찾아보기 어렵다.[2)]

따라서, 본 연구에서는 아연 도금 강판의 용접에서 실드가스 중 O_2를 혼합하면 어떠한 용접현상이 일어나는지에 대해서 실험하였다.

4.2 실험방법

용융 아연 도금 강판(아연 부착량 275g/m^2)의 용접성을 평가하기 위해 실드가스 중에 산소를 첨가하여 산소가 용접특성에 미치는 영향에 대하여 실험을 하였다. Table 4.1은 본 실험에 사용된 재료 및 실험방법을 나타낸 것이다.

실드가스 중의 산소가 용접특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 100%Ar과 Ar+6%O_2를 혼합하여 사용하였을 경우, 아크 모니터링 시스템을 이용하여 용적특성에 미치는 영향을 고찰하였으며, video camera(F2.0, S 1/12000)를 이용하여 아크형상의 변화를 관찰하였다.

Table 4.1 Welding condition for experiment

Power source	200A Inverter AC/DC pulse welding machine 600A Inverter welding machine
Base metal	Galvanized sheet(200×30×1mmt) Mild steel(200×100×5mmt)
Welding wire	Galvanized sheet : YGW-12(φ1.0) Mild steel : YGW-15(φ1.2)
CTWD	15~18 mm
Welding speed	Galvanized sheet : 80 cm/min Mild steel : 40 cm/min
Torch angle	Right angle, Forehand angle 10°
Welding position	Flat(Bead on plate)
Gas shielding	100%Ar, Ar+6%O_2 (20ℓ/min)

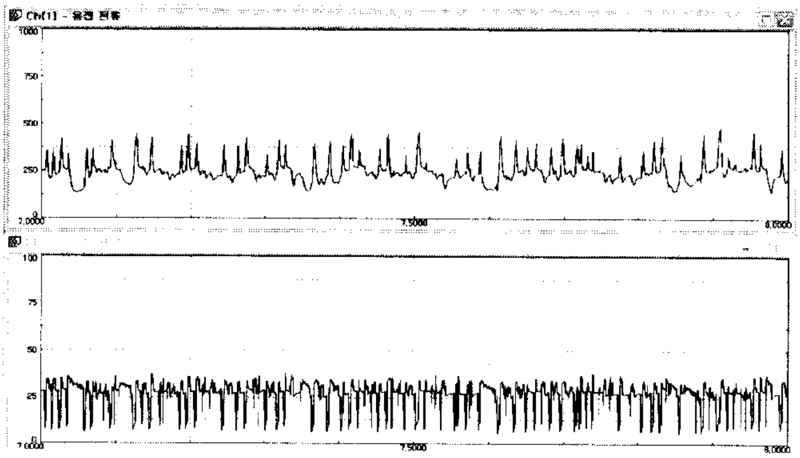
4.3 실험결과 및 고찰

4.3.1 용적이행에 미치는 산소의 역할

실드가스 중에 산소를 첨가하였을 때 산소가 용적이행에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 용접전류 및 전압을 250A, 26V로 일정하게 하여 100%Ar을 사용하였을 경우와 Ar+6%O_2를 첨가하였을 경우 아크모니터링 시스템을 이용하여 실험을 하였다.

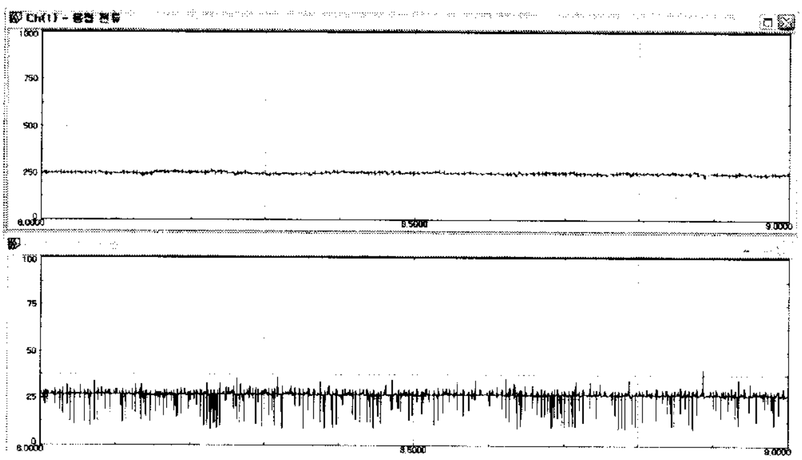
Fig. 4.1은 실드가스 중에 산소를 첨가하였을 때 전류 및 전압 모니터링 파형이다. 용접전류 및 전압을 동일하게 설정하여 용접을 하였을 때 100%Ar을 사용하였을 경우 단락 시간비는 13.66%이지만 O_2를 6% 혼합하였을 때의 단락 시간비는 2.01%로 낮아졌다. 또한 정상/순간 단락수도 100%Ar을 사용하였을 때보다 O_2를 6% 혼합하여 사용하였을 때 정상 단락수는 초당 1회로 감소하였으며, 순간 단락수는 증가한 것을 알 수 있다. 이러한 결과에 대한 고찰을 Fig. 4.2에 나타내었다.

Fig. 4.2는 산소 첨가에 따른 용적이행의 모식도를 나타낸 것이다. 산소는 표면활성화 원소로서 용적의 표면장력을 감소시킨다. 따라서, 동일한 조건으로 용접을 행할 때 즉, 용적을 와이어에서 이탈시키는 힘(전자기적 핀치력)이 동일하게 작용할 경우 O_2를 혼합한 쪽에서 용적의 이탈이 쉽게 일어나는 것이라고 판단된다. 그러므로 실드가스에 O_2첨가로 인해 원활한 용적의 이탈로 단락시간비가 적게 되며 양호한 스프레이 이행이 일어나는 것으로 판단된다.



Average current(A)	Average voltage(V)	Short circuit time ratio(%)	Instantaneous/Normal (number/sec)
246.76	26.38	**13.66**	27/81

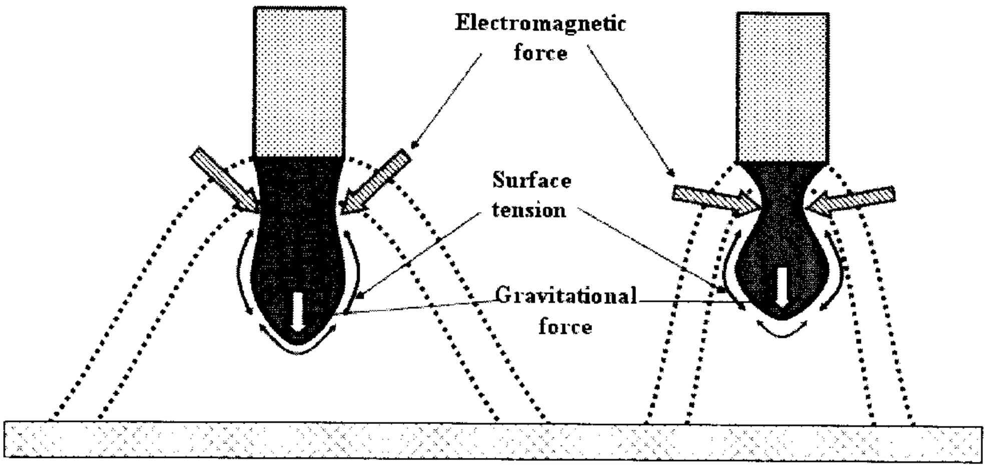
(a) 100%Ar



Average current(A)	Average voltage(V)	Short circuit time ratio(%)	Instantaneous/Normal (number/sec)
248.88	26.68	**2.01**	124/1

(b) Ar+6%O_2

Fig. 4.1 Waveform at steady current welding (250A 26V, Mild steel)



(a) 100%Ar (b) Ar+6%O_2

Fig. 4.2 Transfer of droplet by oxygen addition

4.3.2 산소첨가에 의한 아크형상의 변화

실드가스 중에 산소를 첨가하였을 때 산소가 아크형상에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 동일한 용접조건(250A, 26V)으로 100%Ar을 사용하였을 경우와 6%O_2를 첨가하였을 경우 video camera(F2.0, S 1/12000)를 이용하여 아크형상의 변화를 관찰하였다. video camera에 빛의 세기를 감소시키기 위해 편광필터와 lowpass필터를 장착하여 100%Ar을 사용하였을 경우와 Ar+6%O_2를 사용하였을 경우 아크 형상을 관찰하였다.

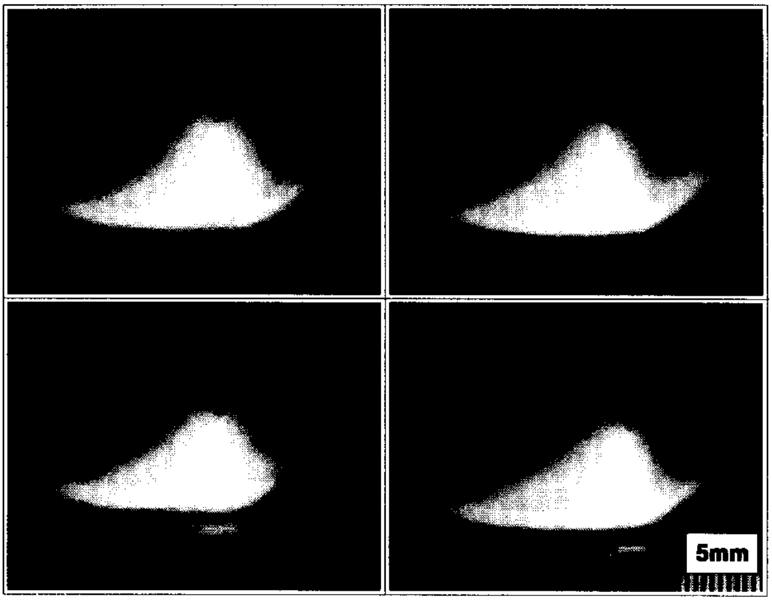
Fig. 4.3은 100%Ar과 Ar+6%O_2를 사용하였을 경우 아크 형상을 나타낸 것이다. 100%Ar의 아크형상보다 6%O_2을 혼합하여 사용하였을 때 아크직경(음극범위)은 작아지고 플라즈마 기둥은 100%Ar을 사용하였을 경우보다 더 밝게 나타났다.

Fig. 4.4는 100%Ar과 6%O_2를 혼합하여 사용하였을 때 아크 플라즈마 기둥과 아크(음극범위)의 크기를 정량적으로 나타낸 것이며, Fig. 4.5는 실드가스에 따른 아크형상을 개략적으로 나타낸 것이다. 100%Ar에 비하여 6%O_2를 혼합하여 사용하였을 때 플라즈마 기둥의 반경은 6%O_2를 혼합한 쪽이 작았으며 아크반경(음극범위의 반경)은 약 1/2정도 작게 나타났다. 동일 조건으로 용접하였을 때 전류밀도도 6%O_2를 혼합한 쪽이 더 높았다. 6%O_2를 혼합한 쪽이 아크의 크기(음극범위)가 작고, 플라즈마 기둥이 좁고 밝으며 전류밀도가 크게 나타나는 것은 O_2를 혼합하여 용접시 용융풀에 산화물이 발생하여 그 산화물에서 전자 방출이 쉽게 되기 때문이다. 이 때문에 아크의 집중성[2)]이 좋으며 용융지의 산화물에서 전자가 쉽게 방출되기 때문에 아크에 걸리는 저항(전압강하가 작다)이 작으므로 플라즈마기둥이 밝게 빛나는 것처럼 보이게 되는 것으로 추정된다.

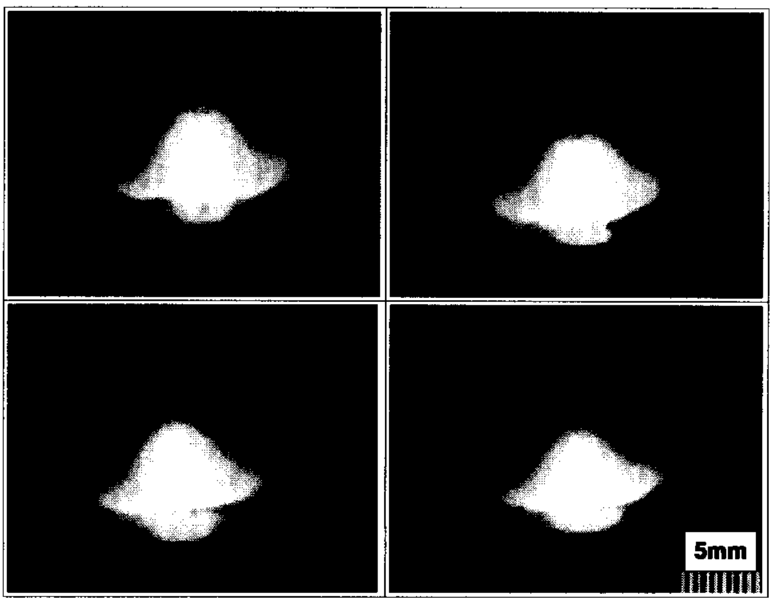
Fig. 4.6은 100%Ar과 Ar+6%O_2를 사용하였을 경우 비드형상과 용입단면을 나타낸 것이다. 100%Ar을 사용하였을 경우 O_2를 혼합하여 사용하였을 때 보다 비드폭이 좁으며, 용입단면도 전형적인 핑거비드(finger bead)가 형성이 되었다. 그러나 O_2를 혼합하여 사용하였을 때 비드폭은 더 넓어지고 용입도 더 깊어지며 핑거비드의 형상이 완화된 것을 알 수 있다.

이것은 O_2를 혼합하여 사용하였을 때 O_2가 표면활성화 원소로서 마랑고니 효과(Marangoni convection or Thermal capillary flow(열모세관유동))에 의해 용융풀 중심과 표면가장 자리에서 온도구배가 발생하여 일종

의 thermal drilling action으로 작용하여 용융풀 하부까지 열의 이동이 원활하게 되어 용입이 깊게 되었다고 추정된다. 또한 O_2가 Fe와 반응할 때 생기는 발열에너지(약 64kcal)로 인해 비드폭이 넓어졌다고 판단된다.



(a) 100%Ar



(b) Ar+6%O_2

Fig. 4.3 Arc shape by oxygen addition

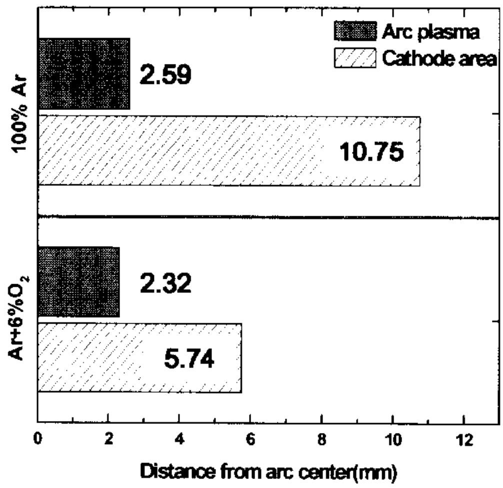


Fig. 4.4 Arc radius by 100%Ar gas and mixed 6%O_2 gas

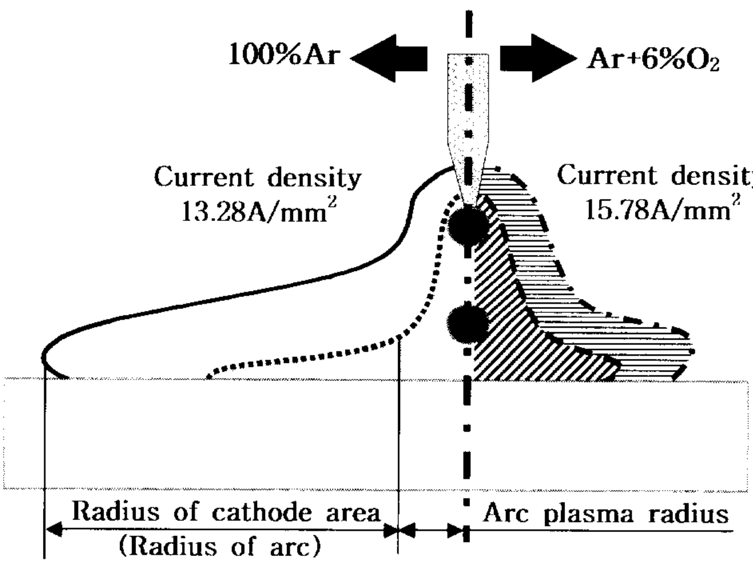


Fig. 4.5 Formation of arc by 100%Ar gas and mixed 6%O_2 gas

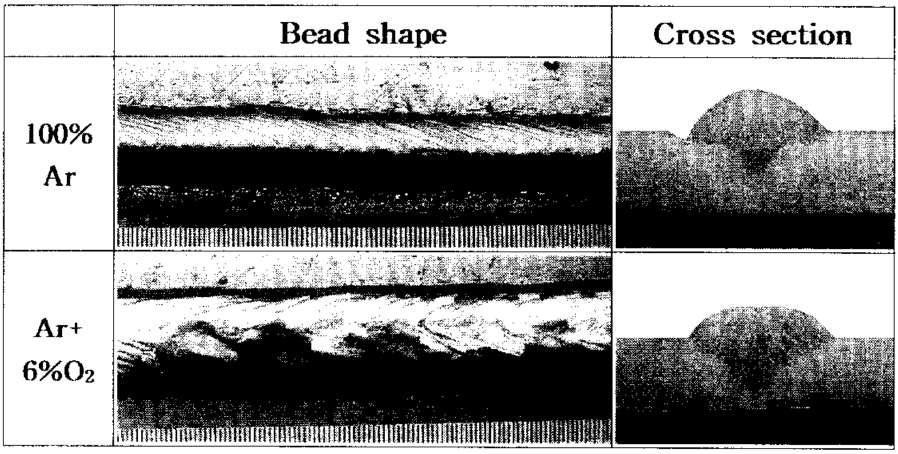


Fig. 4.6 Bead shape and bead cross section(t 5.0)

4.3.3 아연도금강판 용접특성에 미치는 산소의 영향

아연도금강판(아연 부착량 275g/m^2)에서 O_2혼합에 따른 용접성을 평가하기 위해 파형설계 된 DC 및 AC 중첩펄스 용접으로 실험을 행하였다.

Fig. 4.7은 DC 중첩 펄스용접에서 실드가스를 100%Ar을 사용한 경우와 O_2를 6%혼합하여 용접할 때의 파형을 나타낸 것이다. 100%Ar을 사용한 경우 매우 불안정한 형태를 보였으나 O_2를 6%혼합하여 사용한 경우 난락이 거의 없는 스프레이 이행형태의 안정된 파형을 보였다.

Fig. 4.8은 실드가스를 Ar 100%를 사용한 경우와 O_2를 6%혼합하여 용접할 때의 비드 외관을 나타낸 것이다.

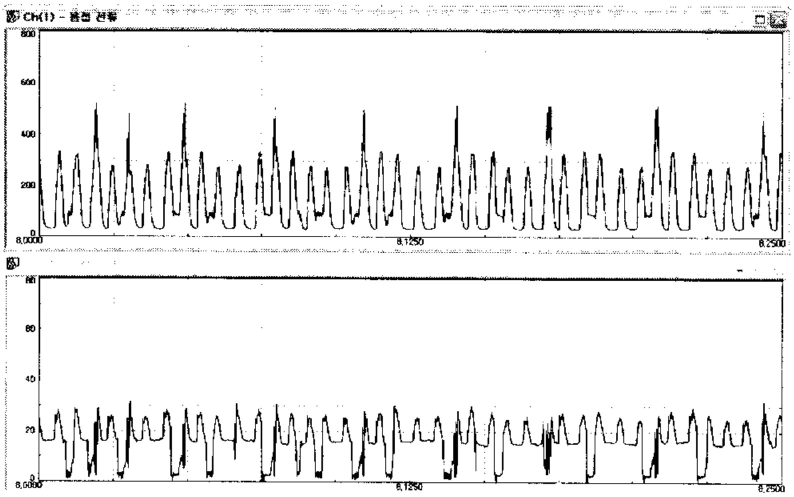
A와 B에서 O_2를 혼합하여 사용한 경우 100%Ar을 사용하였을 때보다 양호한 비드외관을 보였으며 AC 중첩 펄스 용접을 적용한 C에서는 DC 중첩 펄스를 적용한 B와 비교해서 비드외관이 상당히 양호하게 나타났다.

Fig. 4.9는 아연 도금 강판 용접시 실드가스에 O_2를 혼합하여 용접할 때 일어나는 산화아연(zinc oxide)의 생성에 대하여 나타낸 것이다.

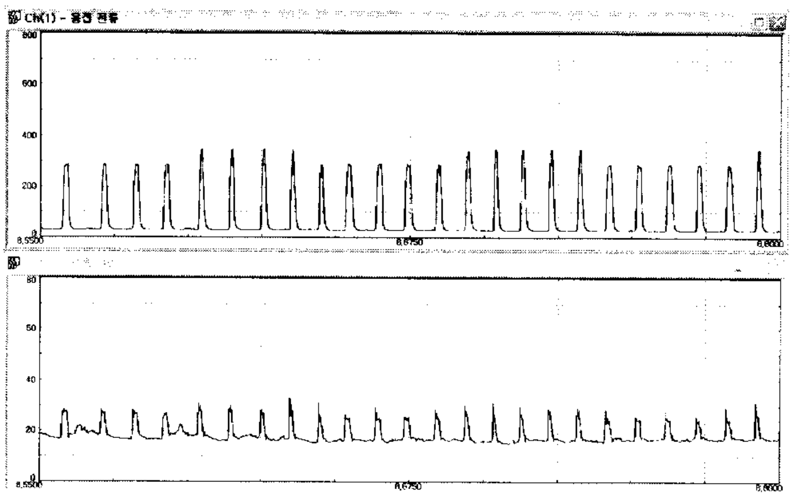
Fig. 4.8의 A와 B에서 O_2를 혼합하여 용접할 경우 비드외관이 양호하게 나타나는 것은 Ar을 단독으로 사용할 경우 아연은 아크열에 의해 증발하여 아크를 불안정하게 한다. 그러나 O_2를 혼합하여 사용할 때 O_2가 아연과 반응하여 고융점의 산화물을 생성하고 아연 도금층을 보호하여 고온의 아크에서도 아연의 증발이 작게 발생되는 것이라고 판단된다.

Fig. 4.10은 비드길이에 따른 아연도금층의 손실량을 나타낸 것이다. 100%Ar을 사용한 경우 아연손실량이 O_2를 혼합한 경우보다 아연 손실량이 더 많았다. 또한 극성비 30%로 AC 중첩 펄스 용접을 적용한 경우가 아연 소실량이 가장 적게 나타났다.

Fig. 4.11은 아연 손실량의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 100%Ar에 비해 O_2를 혼합한 경우가 표준편차가 작게 나타나며 AC 중첩 펄스 용접을 적용한 경우가 가장 작게 나타났다. 따라서 DC 중첩 펄스 용접에 비해 입열량을 감소시킬 수 있는 AC 중첩 펄스 용접법을 사용함으로서 아연 손실량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 100%Ar



(b) $Ar+6\%O_2$

Fig. 4.7 Wave form by mixed O_2 gas in DC wave pulse welding (Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)

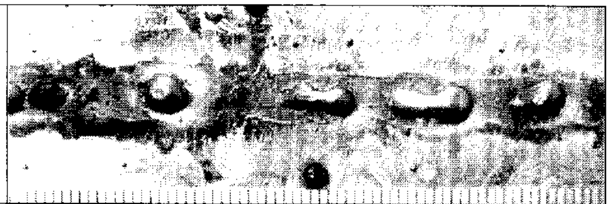
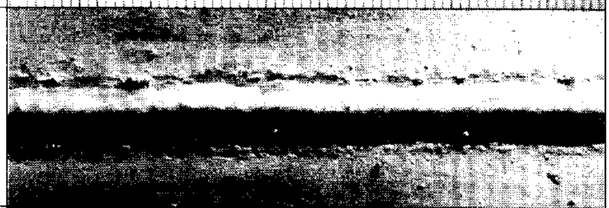
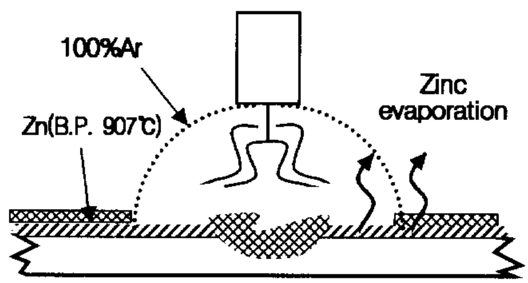
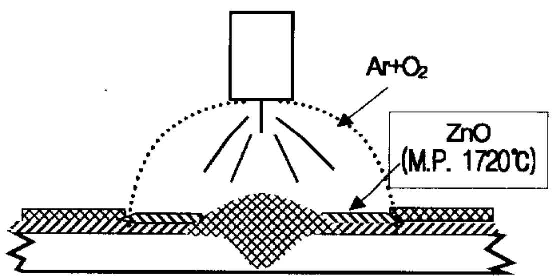
A	DC wave pulse (100%Ar)	
B	DC wave pulse ($Ar+6\%O_2$)	
C	AC wave pulse ($Ar+6\%O_2$)	

Fig. 4.8 The shape of bead by wave pulse
(Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)



(a) 100%Ar gas



(b) $Ar+O_2$ gas

Fig. 4.9 Formation of zinc oxide by oxygen addition

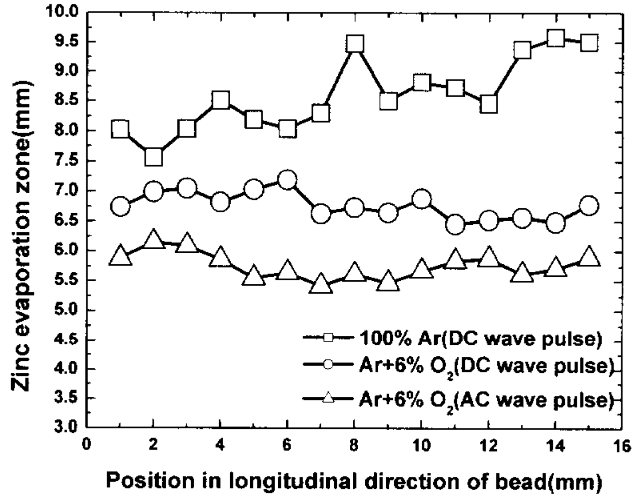


Fig.4.10 Amount of zinc loss by welding methode

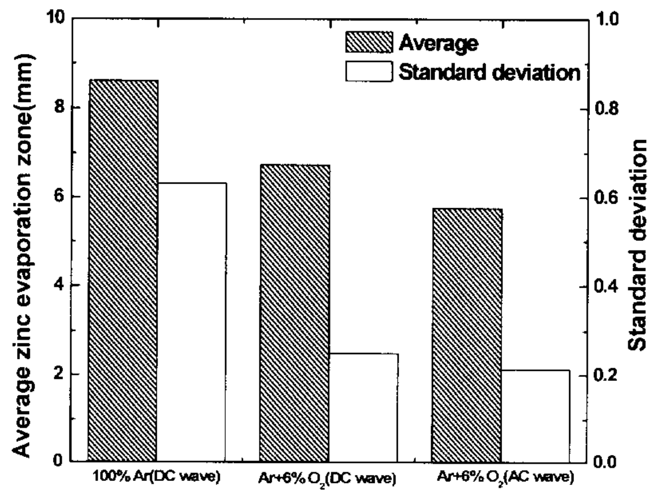


Fig.4.11 Average and standard deviation for amount of zinc loss

4.4 결 언

아연도금강판에서 실드가스 중에 O_2를 첨가하였을 때 O_2가 용접성에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 용접전류 및 전압을 동일하게 설정하여 용접을 하였을 때 100%Ar을 사용하였을 경우 단락 시간비는 13.66%이지만 O_2를 6% 혼합하였을 때의 단락 시간비는 2.01%로 낮아졌다. 이것은 실드가스 중 O_2첨가에 의해 O_2가 표면활성화 원소로 작용하여 용적의 표면장력을 감소시켜 원활한 스프레이 이행이 되게 한 것이라고 판단된다.
2) 실드가스 중에 O_2를 첨가하였을 때 O_2가 아크형상에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 실험한 결과 100%Ar의 아크형상보다 6%O_2을 혼합하여 사용하였을 때 아크직경(음극범위)은 작아지고 플라즈마 기둥은 100%Ar을 사용하였을 경우보다 더 밝게 나타났다. 이것은 O_2를 혼합하여 용접시 용융풀에 산화물이 발생하여 그 산화물에서 전자 방출이 쉽게 되기 때문이다. 이 때문에 아크의 집중성이 좋으며 용융지의 산화물에서 전자가 쉽게 방출되기 때문에 아크에 걸리는 저항이 작으므로 플라즈마기둥이 밝게 빛나는 것처럼 보이게 되는 것으로 추정된다.
3) 실드가스 중에 O_2혼합에 따라서 비드형상과 용입형상은 100%Ar을 사용하였을 경우 O_2를 혼합하여 사용하였을 때 보다 비드폭이 좁으며, 용입단면도 전형적인 핑거비드(finger bead)가 형성이 되었다. 그러나 O_2를 혼합하여 사용하였을 때 비드폭은 더 넓어지고 용입도 더 깊어지며 핑거비드의 형상이 완화되었다.
4) 아연 도금 강판의 아크 용접시 O_2를 혼합하여 사용하면 모재 표면에 아연이 산화하여 고융점의 ZnO를 생성하여 아연의 증발을 억제한다.

제5장 아연 도금 강판의 용접특성 평가

5.1 서언

아연 도금 강판의 아크용접시 가장 문제가 되는 것은 Lap joint나 fillet 용접부에서 blowhole 및 pit와 같은 결함이 쉽게 발생하여 용접부의 성능이 크게 저하되는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 아연 도금 강판의 아크 용접에서 발생하는 결함을 최소화하기 위한 연구를 수행하였다.

5.2 실험방법

용융 아연 도금 강판(아연 부착량 $275g/m^2$)의 용접성을 평가하기 위해 와이어 송급속도를 76mm/sec로 동일하게 하고 용접속도를 80cm/min로 일정하게 하여 실험을 하였다.

또한 아크 모니터링 시스템을 사용하여 용접전류와 전압으로 입열량을 계산하였고 AC 중첩 펄스 용접에서는 모재의 용융, 입열량, 변형 등을 최소화하기 위해서 EN 극성비를 적용하여 실험을 수행하였다.

또한 주파수 변화에 따른 blowhole 및 pit의 발생량을 측정하였다.

5.3 실험결과 및 고찰

5.3.1 AC 중첩 펄스용접에서 EN 극성비에 따른 입열량 비교

Fig. 5.1과 Fig. 5.2는 AC 중첩 펄스용접에서 EN 극성비 변화에 따른 전류의 모니터링 파형으로서 EP구간과 EN구간이 주기적으로 반복되는 파형을 볼 수가 있으며 EN 극성비 40%가 EN 극성비 20%보다 EN에 해당하는 구간의 면적이 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 5.3은 동일한 와이어 송급속도에서 극성비 증가에 따른 입열량을 나타낸 것으로 극성비가 증가할수록 용적의 보유열량이 작아서 입열량이 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5.4은 EN 극성비 변화에 따른 겹치기 이음 용접실험으로 EN 극성비 40%가 EN 0%보다 입열량이 작아서 상판모재의 용융이 적고 비드가 볼록하지만 상대적으로 하판모재의 용융이 적게 됨을 알 수 있다.

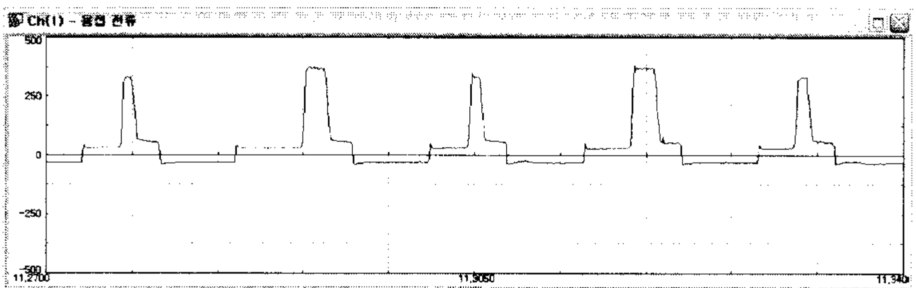


Fig. 5.1 Waveform at EN-Ratio 20%
(Setting current 60A, AC wave pulse MIG)

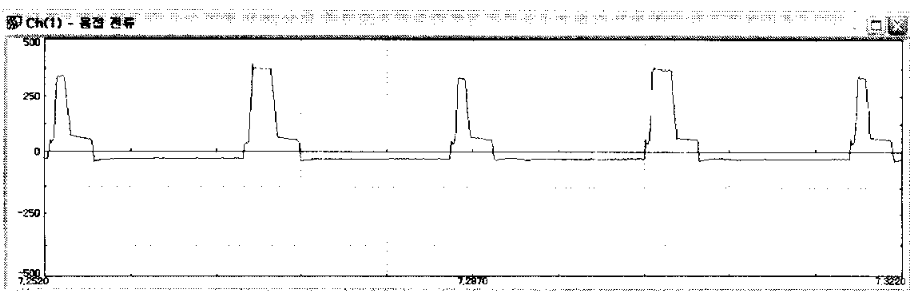


Fig. 5.2 Waveform at EN-Ratio 40%
(Setting current 60A, AC wave pulse MIG)

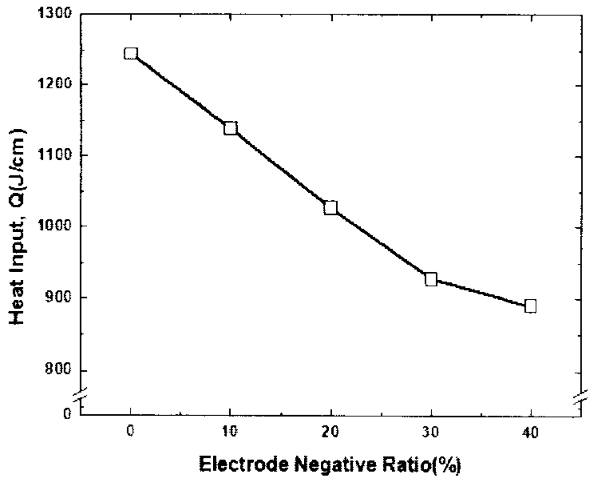


Fig. 5.3 Heat input by electrode negative ratio
(Same wire feeding rate, AC wave pulse)

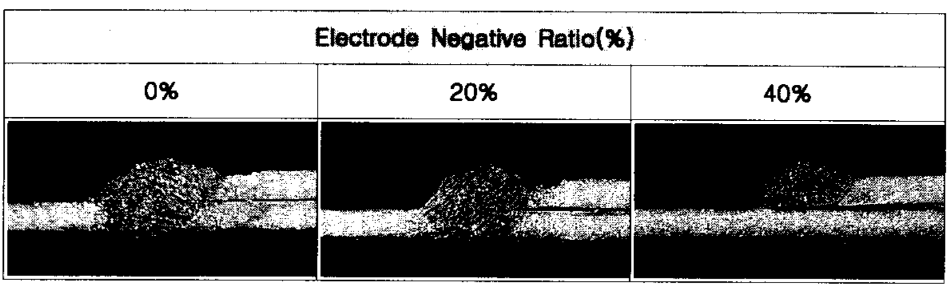


Fig. 5.4 The shape of bead cross-section by EN ratio in lap joint(60A, AC wave pulse)

5.3.2 AC 중첩 펄스용접에서 EN 극성비에 따른 변형량 비교

Fig. 5.5는 AC 중첩 펄스 MIG 용접에서 EN 극성비에 따른 변형량을 나타낸 것이다. 변형량은 극성비 0%보다 극성비가 40%가 약 68%로 감소하였다. 이것은 극성비가 증가함에 따라 모재에 투여되는 입열량이 적기 때문에 변형이 감소되었다고 판단된다.

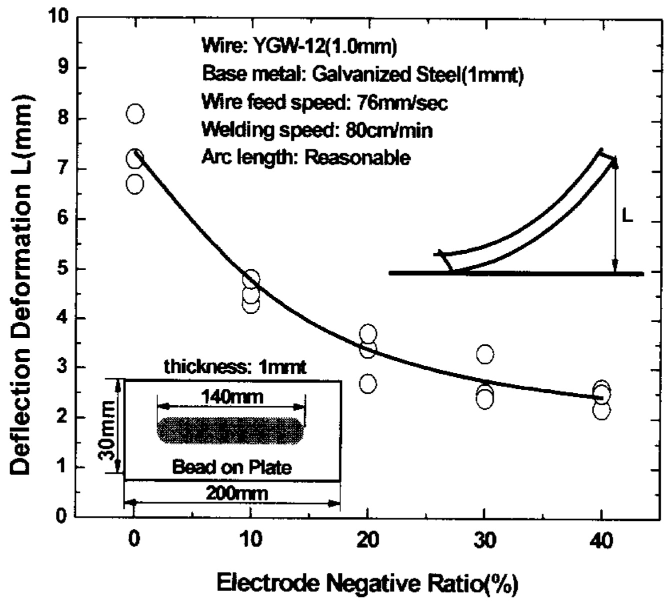


Fig. 5.5 Restrain deformation with AC wave pulse welding

5.3.3 아연 도금 강판의 기공 발생 특성

(1) 주파수 변화에 따른 기공 발생 특성

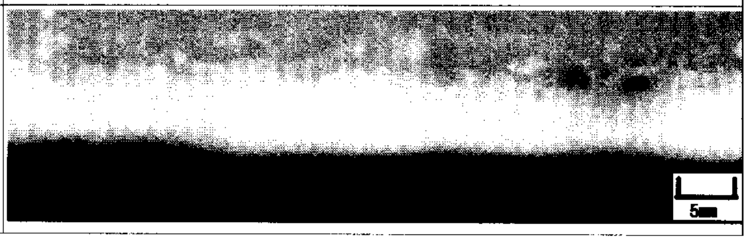
아연 도금 강판의 기공 발생 특성을 알아보기 위해서 먼저 주파수 변화에 따른 기공발생량을 검토하였다. 기공수는 KS B 0845의 "강 용접 이음부의 방사선 투과 시험 방법"에 기준해서 측정하였다.

Fig. 5.6은 주파수 변화에 따라서 방사선 투과시험 판독사진을 나타내었다. DC 및 AC 중첩 펄스 용접에서 5Hz 일 때보다 30Hz 일 때가 blowhole이 줄어 든 것을 알 수 있다.

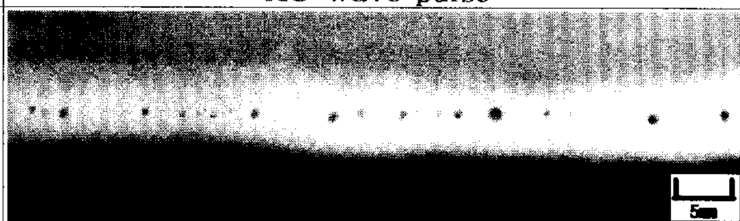
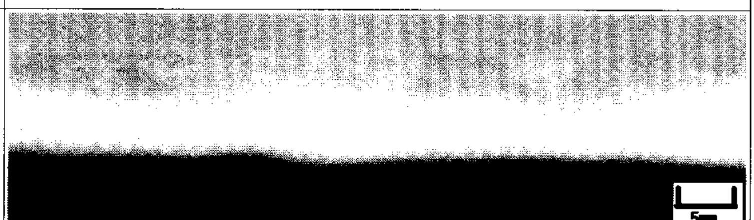
Fig. 5.7과 Fig. 5.8은 DC 및 AC 중첩 펄스용접에서 주파수 변화에 따른 기공 발생량을 나타내었다. 주파수가 증가 할수록 blowhole 수는 점차 감소하지만, 크기가 1.0mm이상인 blowhole은 AC 중첩 펄스의 스위칭 주파수 30Hz에서 기공 발생량이 적었다. 이것은 DC 및 AC 중첩 펄스용접에서 low pulse와 high pulse의 주기적인 반복으로 인하여 용융지가 진동하여 용융지 내부의 아연증기가 외부로 배출되기 때문이라고 판단된다.

Fig. 5.9는 blowhole과 pit에 대한 예를 나타내고 있다. Root부에서 아연증기가 생성되어 root부로부터 기공이 성장하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5.10에 blowhole 생성의 개략적인 모식도를 나타내었다. 아크열과 용융지의 열로 인해 아연이 증발하여 대기와 노출된 부분은 아연이 증발하지만 root부에서는 아연증기가 배출되지 못하게 된다. 이 때 root부에서 고압의 아연증기가 용융금속으로 이동할 때 아연증기압이 용융지의 표면장력보다 크게 될 경우 blowhole이 발생하게 되는 것이다. 따라서 blowhole의 대부분은 root부에서 생성되어 성장하게 되는 것이다.

fs	DC wave pulse
5Hz	
30Hz	

(a) DC wave pulse

fs	AC wave pulse
5Hz	
30Hz	

(b) AC wave pulse

Fig.5.6 Blowholes by radiographic examination(KS B 0845)

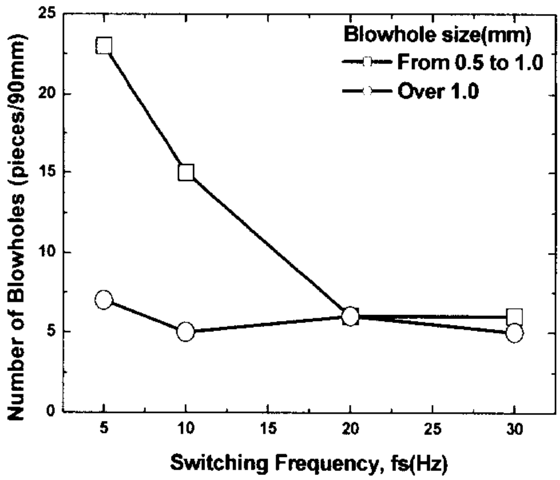


Fig.5.7 Number of blowholes by switching frequency(DC wave pulse)

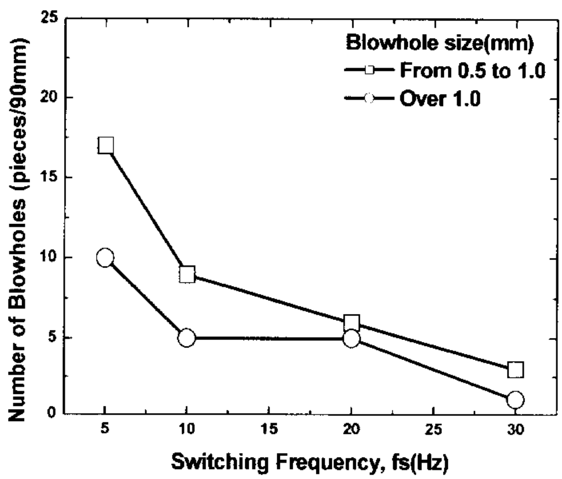


Fig.5.8 Number of blowholes by switching frequency(AC wave pulse)

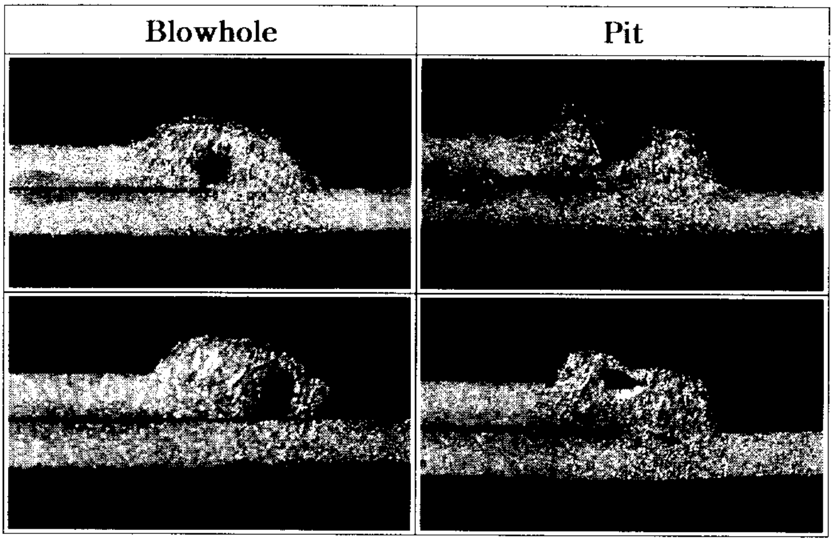


Fig.5.9 The shape of bead cross section
(DC wave pulse, fs 5Hz, W.F.R 76mm/sec, t1.0)

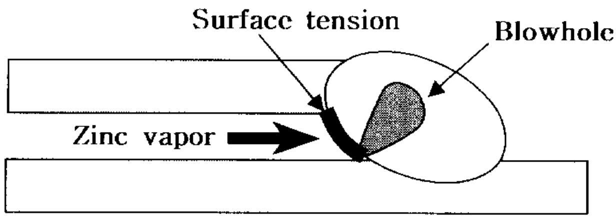


Fig.5.10 Schematic illustration of blowhole formation in lap joint

(2) EN 극성비에 따른 기공량

앞 절에서 AC 중첩 펄스용접이 DC 중첩 펄스 용접보다 입열량 감소에 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 절에서는 AC 중첩 펄스용접에서 EN 극성비에 따른 기공 발생량을 검토하였다.

앞 절에서 주파수 30Hz일 때 blowhole이 가장 적었다. 그러나 EN 극성비에 따른 blowhole발생량을 알기 위해서 주파수를 20Hz로 하여 실험을 수행하였다.

Fig. 5.11과 Fig. 5.12는 AC 중첩 펄스 용접에서 EN비에 따른 blowhole량을 나타낸 방사선 판독 사진과 그래프를 나타냈었다.

EN 극성비가 30% 되는 곳에서 blowhole이 가장 작게 되는 것을 보여주고 있습니다. 이것은 EN 극성비를 증가시킴에 따라서 평균전류가 감소하여 입열량이 감소되고 아연의 증발량이 적게 되어 root에서 blowhole의 발생이 작게 된 것이라고 판단된다.

그러나 EN 극성비가 40%가 되면 오히려 blowhole이 증가하고 있는 것을 보여준다. EN 극성비가 40%일 때는 아크가 와이어를 용융시키는데 많은 열량을 소모하고 입열량이 작아 충분한 용융지를 만들지 못하여 아크가 불안정하게 된다. 이 때문에 EN 극성비가 40%일 때는 불안정한 아크로 인해 대기로부터 공기가 유입되어 blowhole량이 더 많아졌다고 판단된다.

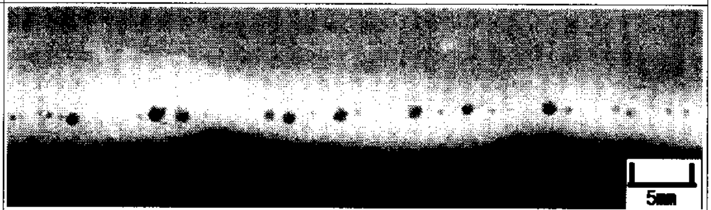
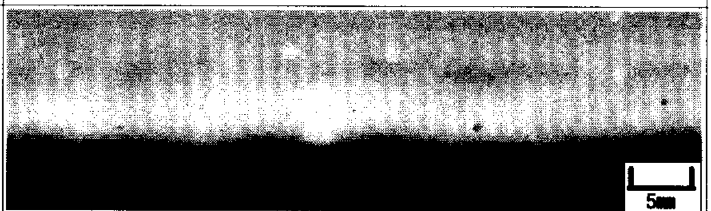
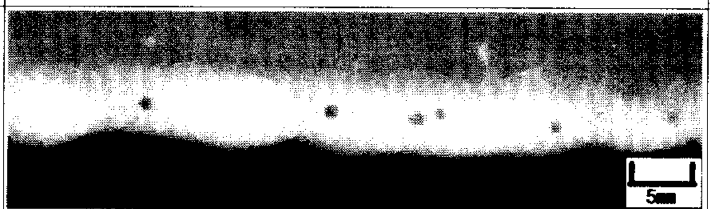
EN ratio	Photo by radio graphic examination
0%	
30%	
40%	

Fig.5.11 Blowholes by radiographic examination (AC wave pulse, fs 20Hz)

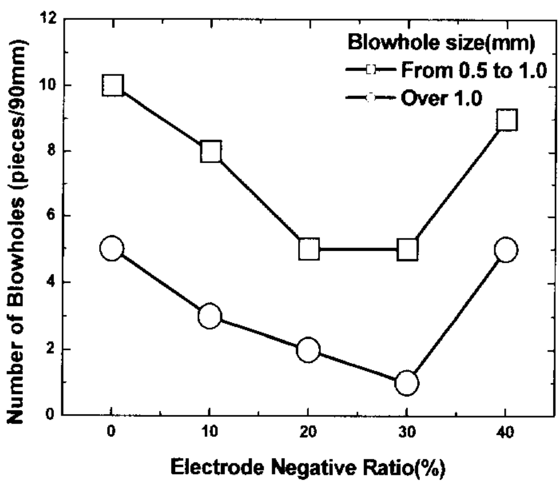


Fig.5.12 Number of blowholes by electrode negative ratio(AC wave pulse, fs 20Hz)

5.4 결언

아연 도금 강판의 용접특성을 평가한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) AC 중첩 펄스 용접에서 와이어 송급속도를 일정하게 하고 EN 극성비를 증가시키면 입열량이 감소하였다.
2) AC 중첩 펄스 용접에서 극성비에 따른 변형을 관찰한 결과 EN 극성비 증가로 인해 입열량이 감소하여 EN 극성비 40%가 0%보다 68%정도 적게 변형을 한 것으로 나타났다.
3) 주파수 변화에 따른 기공 발생량은 DC 및 AC 중첩 펄스 용접에서 5Hz 일 때보다 30Hz 일 때가 blowhole이 줄어들었다. 이것은 DC 및 AC 중첩 펄스용접에서 low pulse와 high pulse의 주기적인 반복으로 인하여 용융지가 진동하여 용융지 내부의 아연증기가 외부로 배출되기 때문이다.
4) EN 극성비에 따른 기공량은 EN 극성비가 30% 되는 곳에서 blowhole이 가장 작게 되었다. 이것은 EN 극성비를 증가시킴에 따라서 평균전류가 감소하여 입열량이 감소되고 아연의 증발량이 적게 되어 root에서 blowhole의 발생이 적게 된 것이라고 판단된다.

제5장 결 론

중첩 펄스 MIG용접에서 아연도금강판 용접시의 파형제어와 용접특성에 관한 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Al용 AC 펄스 MIG 용접기에 솔리드 와이어를 사용하여 DC 및 AC 중첩 펄스 용접에 적용한 결과 스패터가 적고 비드외관이 미려한 중첩 펄스 조건을 확립할 수가 있었다.

2) 아연 도금 강판의 아크 용접시 O_2를 혼합하여 사용시 O_2가 표면활성화 원소로 작용하여 용적의 표면장력을 감소시켜 원활한 스프레이 이행이 되게 하고, 전자방출이 쉽게 되어 아크 집중성이 좋아진다. 또한 O_2가 혼합되면 모재 표면의 아연이 산화하여 고융점의 ZnO를 생성시켜서 아연의 증발을 억제하여 아연 도금층의 증발을 억제하였다.

3) AC 중첩 펄스 용접에서 와이어 송급속도를 일정하게 하고 EN 극성비를 증가시키면 입열량이 감소하여 아연 도금층의 손실이 작아졌다.

4) AC 중첩 펄스 용접에서 극성비에 따른 변형을 관찰한 결과 EN 극성비 40%가 EN 극성비 0%보다 68%정도 적게 변형을 한 것으로 나타났다.

5) 주파수 변화에 따른 기공 발생량은 DC 및 AC 중첩 펄스 용접에서 low pulse와 high pulse의 주기적인 반복으로 인하여 용융지가 진동하여 용융지 내부의 아연증기가 외부로 배출되기 때문에 5Hz 일 때보다 30Hz 일 때가 blowhole이 줄어들었다.

6) EN 극성비에 따른 기공량은 EN 극성비를 증가시킴에 따라서 평균전류가 감소하여 입열량이 감소되고 아연의 증발량이 적게 되어 EN 극성비가 30% 되는 곳에서 blowhole이 가장 적게 되었다.

7) 아연 도금 강판에 대하여 AC wave pulse MIG 용접을 적용한 결과 입열량이 적기 때문에 용락의 우려가 적고 아연도금층의 손상이 작게 되며 스패터가 적고 양호한 비드외관을 얻을 수가 있었다.

참고문헌

1. H. Matsui, S. Shionoya : 亜鉛めっき鋼板のアーク溶接における溶融池振動による氣孔の低減, 溶接學會論文集, 16-1(1998), p.45-50
2. M. Uchihara, T. Taka, H. Miyazaki : 亜鉛めっき鋼板のアーク溶接性に及ぼす溶接施工條件とシールドガス組成の影響, 溶接學會, June, 1995, II-105-109
3. 益本 功, 松田一夫, 長谷川正義 : 亜鉛めっき鋼板のアーク溶接, 溶接學會誌, 42-12, 1973, 1223-1236
4. K.Yasuda, S.Nakano, T.Yamaguchi, T.Komatsu and T.Nakajima : Avoidance of Blowhole in Arc Welding of Galvanized Steel Sheets, The 5th International Symposium of the Japan Welding Society, April, Tokyo, 1990, 785-790
5. 亜鉛めっき鋼板の溶接手引作成委員會 : 亜鉛めっき鋼板の溶接手引, (社) 鋼材倶樂部(1977)
6. E.N.Gregory : Welding zinc coated steel, Welding Coated Steel, TWI, 5-12
7. 山田忠昭, 小林實 : パルスMAG溶接におけるブローホールについて, 溶接學會論文集, 3-4, 1985, 822-830
8. 松井仁志 等 : 溶融亜鉛めっき薄鋼板のアーク溶接施工法に關する基礎検討, 溶接學會論文集, 15-3(1997), p.484-493
9. A. Joseph, C. Webb : Variable Polarity Improves Weld Brazing of Galvanized Sheet, Welding Journal, October 2001, 36-40
10. ランカスタ : 溶接アークの物理, 溶接學會, 溶接アーク物理研究委員會, 1990, 129-156(in Japanese)
11. T. Ueyama, H. Tong, S. Harada : Improve Sheet Metal Welding Quality & Productivity with AC Pulsed Welding System, IIW Doc. XII 1629-00

12. S. L. Lim : Design Concept and Output Characteristic of AC pulse Waveform for MIG Welding of Al sheet, Master's Thesis of Pukyoung National University, 2002.8 (in Korean)
13. T. Mita : New Current Waveform Control for Aluminum Welding, Light Metals Welding, Vol.37 No.5, 1999 (in Japanese)
14. 대한용접학회편 : 용접-접합편람, 대한용접학회, 1998 (in Korean)
15. 대한용접학회 : 용접-접합 용어사전, 2001(in Korean)
16. S. L. Lim, H. S. Kong, S. M. Cho : Design Concept and Output Characteristic of AC pulse Waveform for MIG Welding of Al sheet, Proceedings of the 2002 Spring Annual Meeting of Korean Welding Society, 2002 (in Korean)
17. H. S. Kong, S. L. Lim, S. M. Cho : The Effect of EN Ratio in AC Pulse Welding Affected Burn Through on MIG Welding for Sheet Al Metal, Proceedings of the 2001 Annual Autumn Meeting of Korean Welding Society, Vol.38, 2001, 15-18 (in Korean)
18. 佐英藤市 : アルミニウム合金用溶込み制御パルスミグ 溶接機 セソサーク NEW AL350, 溶接技術 Gide, Vol. 38, 1998 (in Japanese)
19. 向井喜彦, 西村新 : 亜鉛めっき鋼板のCO_2溶接關する研究, 溶接學會論文集, 7 1, 1989, 70-75

감사의 글

용접을 공부하겠다는 결심을 한 후 저는 용접을 공부한다는 것은 항상 두 가지 측면의 자아와의 싸움이라고 생각해왔습니다. 하나는 힘든 공부를 해야만 한다는 지적능력에 대한 자아와 또 다른 하나는 용접이라는 것을 공부하면서 현실적인 측면에서 나 자신을 바라보는 자아였습니다. 그러한 점에서 이번 논문을 쓰는 시간들은 정말로 이 두 자아의 한계를 냉혹할 만큼 뼈저리게 느끼게 해주는 시간이었습니다.

살아있는 지식, 생각하게 하는 용접철학에 대해서 구체적인 논문으로 안내해주신 것은 전적으로 지도교수인 조상명 교수님의 도움이었습니다. 이 논문은 솔직히 조상명 교수님의 가르침에 의해서 완성이 되었다고 솔직히 말하고 싶습니다. 게으름과 잘못된 것에서 호되게 꾸짖는 교수님의 가르침 속에서 논문이 끝난 지금도 교수님의 기대를 다 하지 못한 것 같아 항상 마음 한 구석에 미안함만이 자리 잡고 있습니다. 더불어 김우열 교수님, 박홍일 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님께서 논문의 자문을 맡아 주셔서 논문에 대해서 하나하나 지적해 주신 많은 것들이 논문을 더 발전적이고 생산적인 방향으로 나갈 수 있게 도와주셨습니다. 뿐만 아니라 동명대학 시절에서 부경대학교대학원에 이르기까지 모든 교수님들로부터 금속 및 재료에 대한 교육훈련은 지금의 논문이 가능할 수 있는 가장 큰 토대가 되었습니다. 학부부터 지켜봐주신 교수님들과 지도교수님의 도움으로 제가 지금의 모습까지 올 수 있었다는 고마움은 평생 마음에 담아 두고 살아가야 할 것입니다.

동명대학의 금속과부터 부경대학교의 소재프로세스 공학과의 대학원에 이르기까지 내가 만난 많은 사람들은 하나같이 나에게 많은 도움을 주었습니다. 강의실에서의 열정적인 토론과 그들과의 술 한잔은 나를 깨닫게 해주기에 충분했습니다..

항상 맏형 같은 모습으로 동명대학 시절부터 술 한잔으로 인생을 토론한 감병오 박사님, 일년이라는 짧은 시간이었지만 시뮬레이션이라는 새로운 세계로 초대해 주신 장경복 박사님, 언제나 모범적인 오동수 선배님, 와이

어계의 최강자 황동수 선배님, 법무부 용접계의 희망 지정민 선배님께 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 그리고 연구실 안방마님으로 살림을 도맡아 해주신 박영희, 김외숙 비서님, 연구실 초기 생활에 많은 도움을 주신 김윤수님, 방선희님, 서상균님, 이광원 사장님, 박대규님, 박금기님, 김덕원님, 김강식님 그리고 언제나 너무나 아름다우신 김송미님, 김나영님, 귀염둥이 정은경님, 뺀질이 박재선님께도 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 또한 학교생활과 연구활동 이외에 잡다한 것에 많은 도움을 주신 임성룡님, 언제나 여성스러운 공현상님, 심술대장인 최규원님, 정색돌이 하승협님, 재치꾼 조호재님, 익살꾸러기 윤훈성님, 영어발음의 신동 박찬우님, 트로트계의 반항아 김진우님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 현재 연구실에서 열심히 연구중인 따이따이의 황태자 박덕조님, 도망자 유광선님, 고양이 조성우님, 탁배기 탁정수님, 자칭 얼짱 고미혜님, 알바생 김영주님, 주정꾼 조진안님, 언제나 시끄러운 허상준님, 동문서답 김인태님께 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

마지막으로, 논문을 쓰는 동안 정신적으로 가장 큰 도움을 준 사람은 바로 나의 아버지와 어머니께 깊은 감사를 드립니다. 힘든 현실 상황속에서도 자식에게 짐을 지우려 하지 않으신 어머니의 눈물과 기도, 항상 당신에게 짐을 짊어지우려는 아버지는 나를 항상 채찍질했고, 그 어떤 누구보다도 더 열심히 해야한다는 마음가짐을 심어주었습니다.

지금 이것이 끝이 아니라는 것을 잘 알고 있습니다. 항상 무엇을 마무리하는 시간들은 그 다음에는 무엇을 할 것이냐고 묻는 것 같습니다. 나는 이제 막 의식이라는 어려운 문제에 발을 들여 놓았을 뿐입니다. 아직 가야할 길이 더 멀고도 험합니다. 부족한 부분은 노력으로 채워나갈 것이라고, 나를 믿고 있는 많은 사람들에게 약속하며 다시한번 감사의 마음을 전하고 싶습니다.