



## 아연도금강판에 대한 중첩펄스 MIG 용접에서의 파형제어와 기공 발생 특성

조 상 명\* · 김 기 정\*\* · 이 병 우\*

\*부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공

\*\* (주)한라이비텍 기술연구소

### The Waveform Control and Blowhole Generation in the Wave Pulse MIG Welding for Galvanized Steel Sheets

Sang-Myung Cho\*, Ki-Jung Kim\*\* and Byung-Woo Lee\*

\*Course of Materials Processing Eng., Div. of Materials Science & Eng., Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

\*\*Electron Beam Weld R&D Center, Halla Electron Beam Technology Inc., Pusan 604-050, Korea

#### Abstract

Recently, application of arc welding to galvanized carbon steel sheet is on the increasing trend in the fields of automobile and construction industries. In arc welding process, zinc is evaporated in weld pool, even under the appropriate welding condition and produce blowhole and/or pit. Zinc gas cause instability of arc and increase spatter and fume.

This research is purposed to minimize the heat-input and the formation of porosities in the welded joint of the galvanized carbon steel sheet using variable polarity AC wave pulse MIG welding system.

An appropriate welding condition which showed low spatter and good bead appearance was acquired by applying the AC pulse MIG welding machine to DC duplicated MIG welding with the solid wire. When oxygen gas was added to shield gas of MIG welding for galvanized steel sheet, arc length was increased and arc stability was improved. In the AC duplicated welding, the loss of galvanized layer was decreased as the amount of heat-input was decreased when the EN ratio was increased under the condition that average welding current was evenly set.

\* Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received October 25, 2004)

Key Words : Galvanized sheet, DC/AC wave pulse MIG welding, Burn through, EN ratio, Waveform control, Zinc oxide, Blowhole

#### 1. 서 론

아연도금강판은 최근 차량, 건축 등의 분야에서 아크 용접의 적용이 늘어나고 있다.

일반적인 아연도금강판의 아크용접 시에는 최적의 용접조건하에서도 아연이 기화하여 용융지에서 기포를 형성하여 기공(blowhole)이나 피트(pit)가 발생하기 쉽다. 또한, 아연가스는 아크를 불안정하게 하고 스파터(spatter)나 아연 푼(fume)이 증가하는 요인으로 작용한다<sup>1-4)</sup>.

Matsui 등은 두 개의 다른 DC 펄스 파형을 조합하여 복합적인 DC 전류파형을 형성시켜서 제어하는 중첩펄스 MIG 용접법을 개발하여 박판 용접의 품질개선에 응용하였다<sup>1)</sup>. 그러나, 극성가변 AC 중첩펄스 MIG 용접을 아연도금 강판에 적용하여 용락과 기공을 동시에 방지하기 위한 연구보고는 찾아보기 어려웠다.

따라서 본 연구에서는 아연도금강판에 대해 극성가변 AC 중첩펄스 MIG 용접법을 사용하여 모재의 입열과 기공을 최소화하는 용접법 개발을 목적으로 하였다.

이를 위하여 실험에서는 DC 중첩펄스 및 극성가변

AC 중첩펄스 MIG 용접을 실시하였고, 보호가스에 산소를 혼합하여 그 영향을 검토하였으며, 비드외관과 기공발생 등의 용접부 품질을 분석하였다.

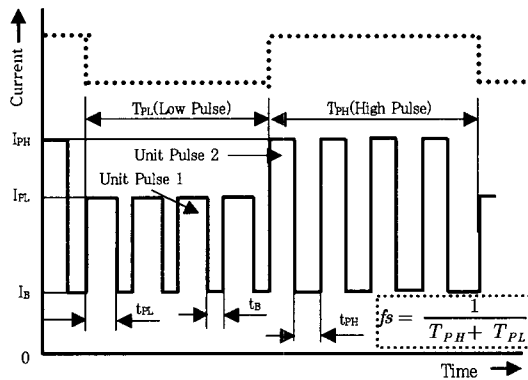
## 2. 중첩펄스 MIG 용접

중첩펄스 MIG 용접은 2종류의 단위펄스를 조합하여 정해진 주기를 반복하는 용접법이다. Fig. 1에 DC 중첩펄스 및 극성가변 AC 중첩펄스 파형의 모식도와 그 용어정의를 나타내었다.

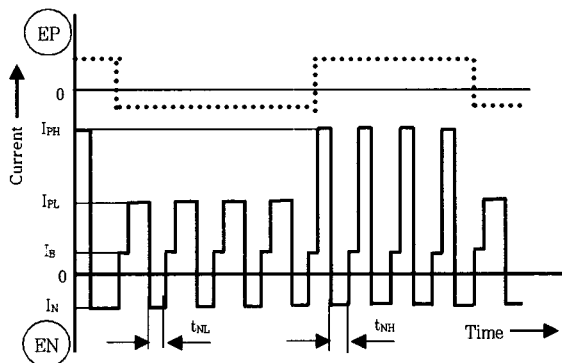
## 3. 사용재료 및 실험 방법

### 3.1 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 길이 200mm×폭



(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
- $I_N$  : Pulsed negative current of pulse condition
- $I_B$  : Base current of pulse condition
- $T_{PH}$  : Duration of pulse condition H
- $T_{PL}$  : Duration of pulse condition L
- $t_{PH}$  : 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
- $t_B$  : Base duration of pulse condition
- $f_s$  : Switching frequency of pulse condition

Fig. 1 Wave pulse current and its notation

30mm×판두께 1mm의 용융이연도금 강판(양면 도금량 275g/m<sup>2</sup>)이었다.

## 3.2 실험 방법

### 3.2.1 중첩펄스 파형의 설정

본 연구에서는 DC 및 AC 중첩펄스 용접에서 단락이 없는 1펄스 1드롭의 스프레이 이행을 목표로 하였다. 따라서 와이어 송급속도가 정해졌을 때, 적절한 크기의 용적을 이행시키기 위해서 펄스 주파수를 먼저 결정하였다.

일반적으로 펄스 GMA(Gas Metal Arc)용접에서는 용적을 와이어 직경과 비슷하거나 약간 크게 하여 스프레이 이행을 얻도록 하고 있다<sup>6-7)</sup>. 따라서, 본 연구에서도 DC 및 AC 중첩펄스 용접에서 와이어 직경과 비슷한 용적으로 이행시키기 위해 단위펄스 1의  $I_p$ 와  $t_p$ 를 조절하고 단위펄스 2의  $I_p$ 와  $t_p$ 는 고정시켜서 적절한 펄스조건을 찾아내는 실험을 실시하였다.

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

Table 1에 본 연구에서 사용된 용접조건을 나타내었다.

### 3.2.2 MIG 용접에서 보호가스 중 산소의 혼합

보호가스 중의 산소가 용접특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 100%Ar과 Ar+6%O<sub>2</sub><sup>2)</sup>를 혼합하여 사용하여 비드농기(Bead on plate)용접을 하였다. 또한, 아크 모니터링 시스템을 이용하여 파형의 특성을 관찰하였으며, 디지털캠코더(F 2.0, S 1/12000)에 의하여 아크형상을 관찰하였다.

Table 1 Welding condition for experiments

	Galvanized sheet (200×30×1mmt)	Mild steel (200×100×5mmt)
Power source	200A Inverter AC/DC pulse welding machine	600A Inverter welding machine
Welding wire	YGW-12(φ1.0)	YGW-15(φ1.2)
Current	60A(W.F.R 76mm/sec)	250A
Voltage	16-24V	24-26V
CTWD	15~18 mm	
Welding speed	80 cm/min	40 cm/min
Switching frequency	$f_s = 0.5 \sim 30\text{Hz}$	
Torch angle	Right angle, Forehand angle 10°	
Welding position	Flat(Bead on plate, Lap joint)	
Gas shielding	100%Ar, Ar+6%O <sub>2</sub> (20 ℓ/min)	

3.2.3 아연도금강판의 기공발생 특성

용융 아연도금강판에서 기공발생 특성을 검토하기 위하여 Table 1의 용접조건으로 DC 및 AC 중첩펄스 용접 후 KS B 0845에 근거하여 기공 및 피트의 발생량을 방사선 투과 시험에 의해 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 DC 및 AC 중첩펄스 파형의 적용

4.1.1 펄스 주파수와 용적 크기의 관계

60A의 용접전류에서 용적의 직경이 와이어와 같은  $\phi$  1.0mm으로 되는 주파수는 113Hz(W.F.R 76mm/sec)이었다. 그러나 AC 중첩펄스의 전류파형에 있어서는 용접기 특성상  $t_{PH}$ 가 고정되어 있고  $t_{PL}$ 의 조정 범위가 한정되어 있으므로 본 연구에서는 용적의 크기를 와이어 직경보다 약간 크게 하여 DC 중첩펄스에서는 1.04mm AC 중첩펄스에서는 1.12mm로 설정하였다.

4.1.2 DC 중첩펄스 파형의 설정

Fig. 2는 단위펄스 2의  $I_{PH}$ ,  $t_{PL}$ 과 단위펄스 1의  $I_{PL}$ 를 고정시키고  $t_{PL}$ 을 변화시켜 용접하였을 때  $t_{PL}$ 의 변화에 따른 단락 시간비의 변화를 보인 것이다.  $t_{PL}$ 이 증가할수록 단락비가 감소하다가  $t_{PL}$  0.7ms부터 단락 시간비가 약 1% 정도로 일정하게 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은  $t_{PL}$  변화에 따른 단락 주파수를 나타낸 것이다.  $t_{PL}$ 이 증가함에 따라 정상단락 수는 점차 감소하며 순간단락 수는 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

단락이 작다는 것은 스파터의 발생이 적고 용융된 와이어가 주로 스프레이 이행에 의해 용융지에 이행한다는 것을 의미하므로 본 실험에서 DC 중첩펄스에 적합한  $t_{PL}$ 은 단락비가 가장 작은 0.9ms라고 할 수 있다.

Fig. 4는 DC 중첩펄스 MIG 용접에서 개선전과 개

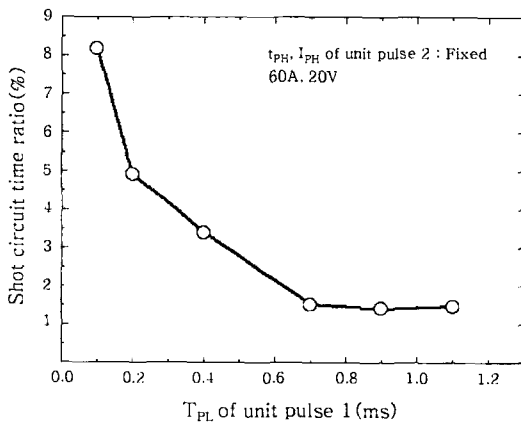


Fig. 2 Short circuit time ratio by  $t_{PL}$  of unit pulse 1 in DC wave pulse

선후의 파형 및 비드외관을 나타낸 것이다. 용접기 초기 설정 값인  $t_{PL}$  0.4ms에서 0.9ms로 증가되었을 때 원활한 스프레이 이행으로 인해 스파터가 거의 없는 양호한 비드외관을 얻을 수 있었다.

4.1.3 AC 중첩펄스 파형의 설정

단위펄스 2의  $I_{PH}$ ,  $t_{PH}$ 와 단위펄스 1의  $I_{PL}$ 을 고정시킨 상태에서 단위펄스 1의  $t_{PL}$ 과 단락주파수의 관계를

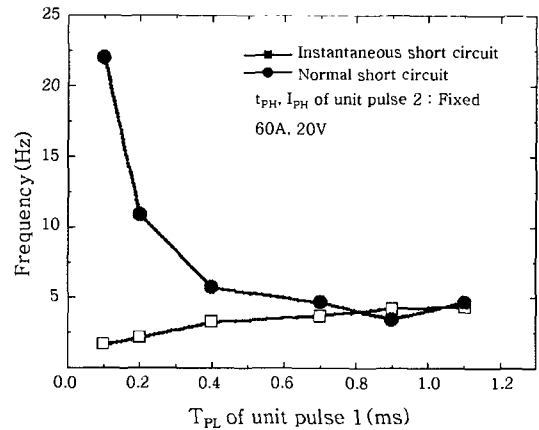
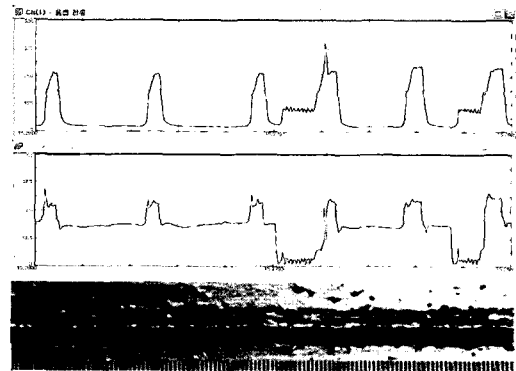
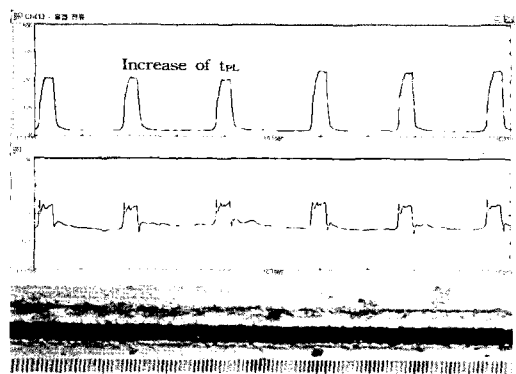


Fig. 3 Normal short circuit and instantaneous short circuit by  $t_{PL}$  of unit pulse 1 in DC wave pulse



(a) Before improvement ( $t_{PL}$ , 0.4ms)



(b) After improvement ( $t_{PL}$ , 0.9ms)

Fig. 4 Waveform improvement of DC wave pulse (W.F.R 76mm/sec)

검토하였다.  $t_{PL}$ 이 증가할수록 순간단락 수는 점차 감소하며 정상단락 수는  $t_{PL}$  0.6ms에서 가장 작은 것을 알 수 있었다. 순간단락이 작고, 정상단락 및 장기단락의 발생이 많다는 것은 아크길이가 짧고 원활한 스프레이 이행을 하지 못하는 것을 의미한다. 따라서 AC 중첩펄스 파형에서는 단락 발생이 가장 적은  $t_{PL}$  0.6ms로 설정하였다.

$t_{PL}$ 을 0.6ms로 고정시키고  $I_{PL}$ 만 변화시킬 때의 단락 주파수를 검토한 결과,  $I_{PL}$ 이 증가할수록 정상단락 수는 감소하고 순간단락수는 증가함을 알 수 있었다. 그러나  $I_{PL}$ 이 350A를 초과하면 모재에 용락이 발생하였다.  $I_{PL}$ 이 증가하면 평균전류가 증가하므로 모재에 대한 입열량도 거의 비례하여 높아진다. 특히 낮은 펄스기간 동안에는 높은 펄스기간 보다 입열량도 낮고  $I_{PL}$ 도 낮아야만 중첩펄스의 특징을 살릴 수 있다. 따라서 본 연구에서는  $I_{PL}$ 은 350A로 설정하였다.

Fig. 5는  $t_{PL}$ 을 0.6ms로 고정하고  $I_{PL}$ 의 변화에 따른 표면비드 및 이면비드의 외관을 나타낸 것이다.  $I_{PL}$ 이 350A일 때가 가장 양호한 비드 외관을 보이고 있으며  $I_{PL}$ 이 390A에서 과도한 입열량으로 인해 이면비드에서 용락이 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 개선전과 개선후의 AC 중첩펄스 파형을 나타낸 것이다.  $t_{PL}$ 과  $I_{PL}$ 의 증가로 원활한 스프레이 이행이 되는 것을 알 수 있다.

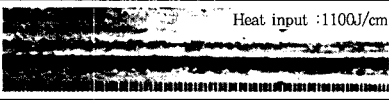

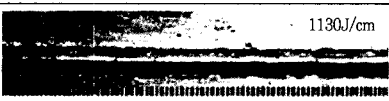
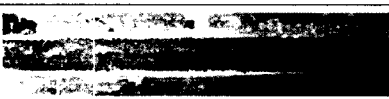

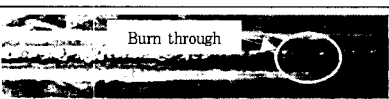
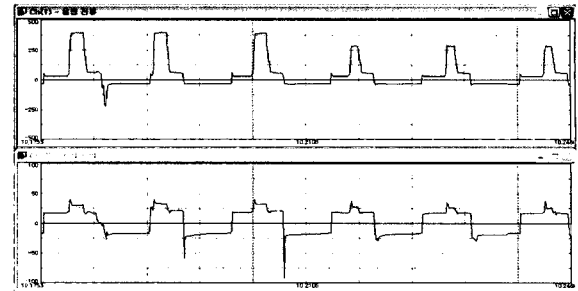
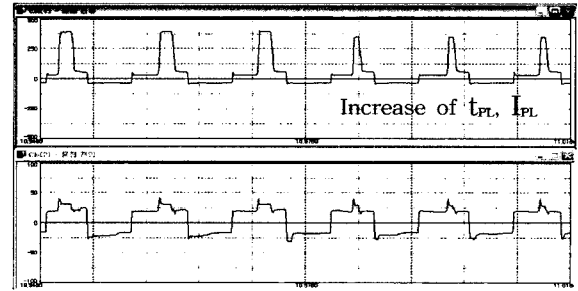
$I_{PL}$	Bead shape	
300A	Surface bead	
	Back bead	
350A	Surface bead	
	Back bead	
390A	Surface bead	
	Back bead	

Fig. 5 Bead shape by IPL in AC wave pulse MIG welding(W.F.R 76mm/sec,  $t_{PL}$  0.6ms)



(a) Before improvement



(b) After improvement

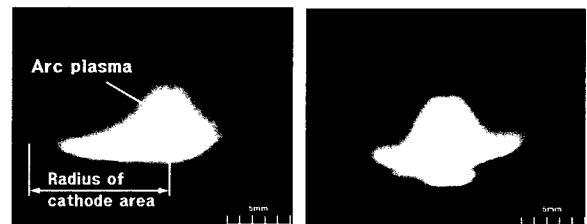
Fig. 6 Waveform at AC wave pulse (Setting current 60A, W.F.R 76mm/sec)

## 4.2 MIG 용접에서 보호가스 중 산소의 영향

### 4.2.1 산소첨가에 의한 아크형상의 변화

Fig. 7은 보호가스에 100%Ar을 사용하였을 때와 6% $O_2$ 를 혼합하여 사용하였을 때의 아크 형상을 나타낸 것이다. 100%Ar의 아크형상보다 6% $O_2$ 를 혼합하여 사용하였을 때 모재쪽의 음극영역(cathode area)은 작아졌으며 플라즈마 기둥은 더 밝게 나타났다.

산소 혼합 보호가스를 사용하였을 때 음극영역이 작고, 플라즈마가 밝게 나타나는 것은 보호가스 중의 산소가 액상의 용융풀과 반응하여 산화물이 발생하게 되면, 전자가 산화물에서 쉽게 방출되기 때문인 것으로 사료된다. 전자가 쉽게 방출되면 아크에 걸리는 저항이 작게 된다. 즉, 음극전압강하가 작게 되므로 아크의 집중성<sup>2)</sup>이 좋으며 같은 전압이 걸렸을 때 아크길이도 길어지게 된다.



(a) 100%Ar

(b) Ar+6% $O_2$

Fig. 7 Arc shape by mixed oxygen

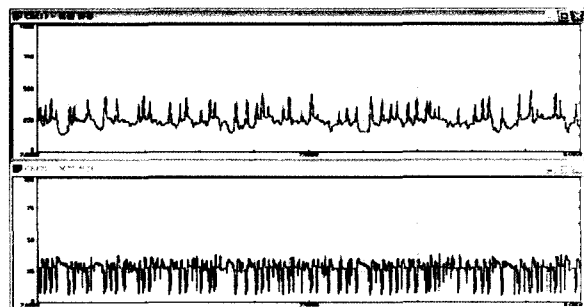
4.2.2 용적이행에 미치는 산소의 영향

Fig. 8은 열간 압연강판 위에 MIG 용접하였을 때 보호가스 중에 산소를 혼합하였을 경우의 전류 및 전압 파형이다. 용접전류 및 전압을 동일하게 설정하더라도 100%Ar을 사용하면 단락 시간비는 13.66%이지만 6%O<sub>2</sub> 혼합시의 단락 시간비는 2.01%로 낮아졌다. 즉 산소를 혼합하면 스프레이 이행이 증가하고 단락 이행이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 9는 산소 혼합 보호가스를 썼을 때 용적이행의 모식도를 100%Ar인 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 산소가 표면 활성화 원소로서 액체 용적의 표면장력을 감소시킬 뿐만 아니라 용적을 와이어에서 이탈시키는 전자기적 펀치력의 작용방향도 Fig. 9 (b)와 같이 바뀌게 하므로 산소 혼합 보호가스 쪽에서 용적의 이탈이 쉽게 일어나는 것으로 판단된다.

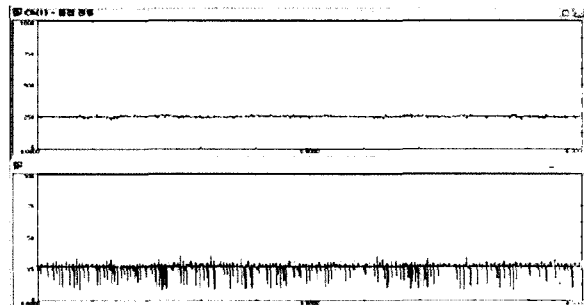
4.2.3 아연도금강판 용접특성에 미치는 산소의 영향

아연도금강판(아연 부착량 275g/m<sup>2</sup>)에서 산소혼합에 따른 용접성을 평가하기 위해 파형설계 된 DC 및



Average current(A)	Average voltage(V)	Short circuit time ratio(%)
246.7	26.3	13.66

(a) 100%Ar



Average current(A)	Average voltage(V)	Short circuit time ratio(%)
248.8	26.6	2.01

(b) Ar+6%O<sub>2</sub>

Fig. 8 Waveform by steady current welding(250A 26V, Mild steel)

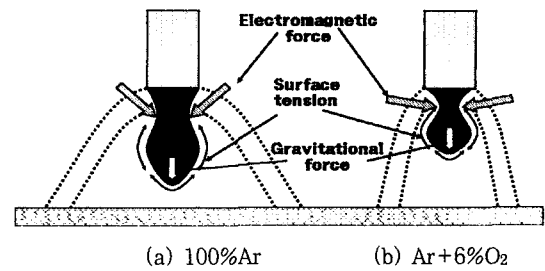


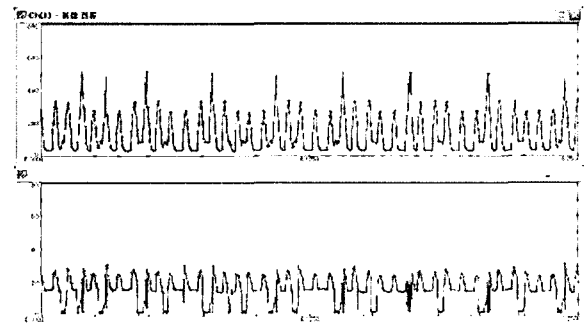
Fig. 9 Transfer of droplet by mixed oxygen

AC 중첩펄스 용접으로 실험하였다.

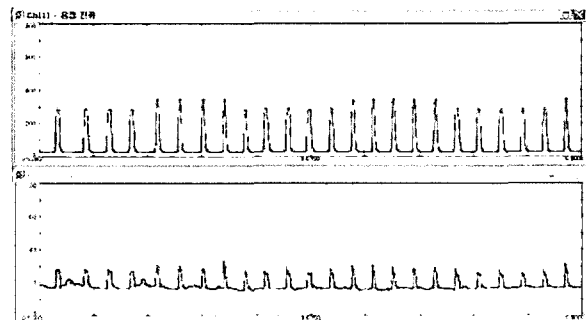
Fig. 10은 아연도금강판에 대한 DC 중첩펄스용접에서 보호가스를 100%Ar을 사용한 경우와 6%O<sub>2</sub> 혼합하여 용접한 때의 파형을 나타낸 것이다. 100%Ar을 사용한 경우 단락이 많아서 매우 불안정한 형태를 보였으나 6%O<sub>2</sub>혼합가스를 사용하면 아크길이의 증가와 용적의 표면장력 감소로 인해서 단락이 거의 없는 스프레이 이행 파형을 보였다.

Fig. 11은 보호가스를 100%Ar을 사용한 경우와 6%O<sub>2</sub> 혼합하여 용접할 때의 비드 외관을 나타낸 것이다. 산소를 혼합하여 사용한 경우 100%Ar을 사용하였을 때보다 양호한 비드외관을 보였으며 AC 중첩펄스 용접을 적용하면 DC 중첩펄스를 적용한 경우 보다 비드외관이 더욱 양호하게 나타났고 스패터도 작았다.

Fig. 12는 아연도금강판 용접시 보호가스에 산소를



(a) 100%Ar



(b) Ar+6%O<sub>2</sub>

Fig. 10 Wave form by O<sub>2</sub> mixed gas in DC wave pulse welding(Φ1.0, W.F.R 76mm/sec)

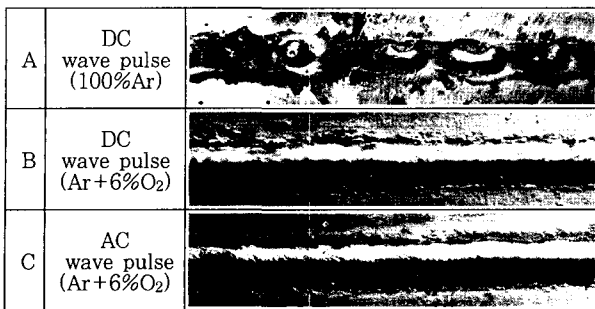


Fig. 11 Various bead shapes obtained by wave pulse using O<sub>2</sub> mixed gas(current 60A, W.F.R 76 mm/sec)

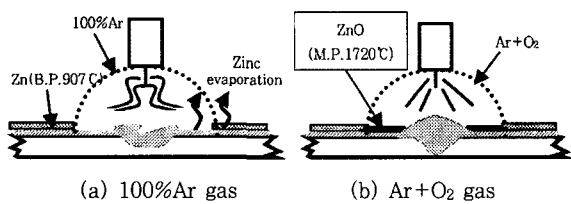


Fig. 12 Formation of zinc oxide by O<sub>2</sub> gas of shield gas

혼합하여 용접할 때 일어나는 산화아연(zinc oxide)의 생성에 대하여 나타낸 것이다.

100%Ar으로 용접하면 아연이 쉽게 많이 증발하여 아크도 불안정해지며 비드외관도 불량하지만, O<sub>2</sub> 혼합 보호가스를 쓰면 산소가 아연과 쉽게 반응하여 산화아연이 표면에 생성되므로 아연의 증발을 억제한다. 특히 ZnO는 용융점이 1720℃<sup>8)</sup>이므로 용융도 증발도 억제된다<sup>2)</sup>.

Fig. 13은 비드길이에 따른 아연도금층의 손실범위를 나타낸 것이다. 100%Ar을 사용한 경우 아연손실범위가 O<sub>2</sub>를 혼합한 경우보다 현저히 넓었다. 또한 EN 극성비 30%로 AC 중첩펄스 용접을 적용한 경우 낮은 입열량으로 인해 아연 손실범위가 가장 적게 나타났다.

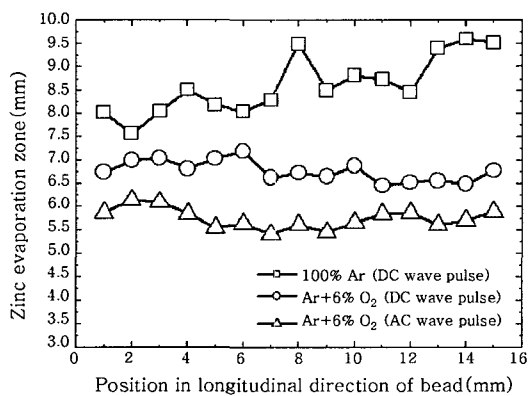


Fig. 13 Comparison of zinc evaporation zone by welding method

Fig. 14는 아연 손실범위의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 보호가스에 O<sub>2</sub>를 혼합하면 그 평균과 표준편차가 작아지며, 거기에 AC 중첩펄스 용접을 적용한 경우가 가장 작게 나타났다. 따라서 DC 중첩펄스 용접에 비해 입열량을 감소시킬 수 있는 AC 중첩펄스 용접법을 사용함으로써 아연 손실범위를 더욱 줄일 수 있었던 것으로 판단된다.

### 4.3 아연도금강판의 기공 발생 특성

#### 4.3.1 주파수 변화에 따른 기공 발생 특성

Fig. 15는 아연도금강판의 겹치기 이음(Lap joint)에 대하여 주파수 변화에 따른 방사선 투과시험 판독사

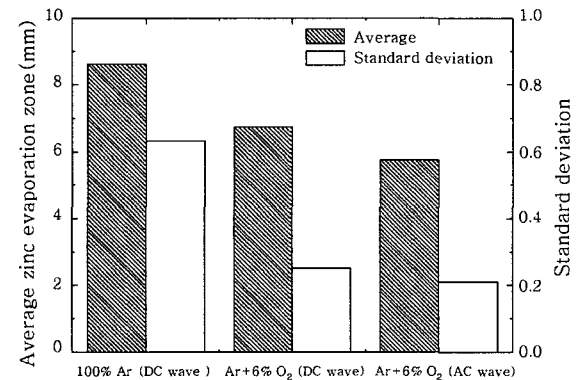


Fig. 14 Average and standard deviation for amount of zinc evaporation zone

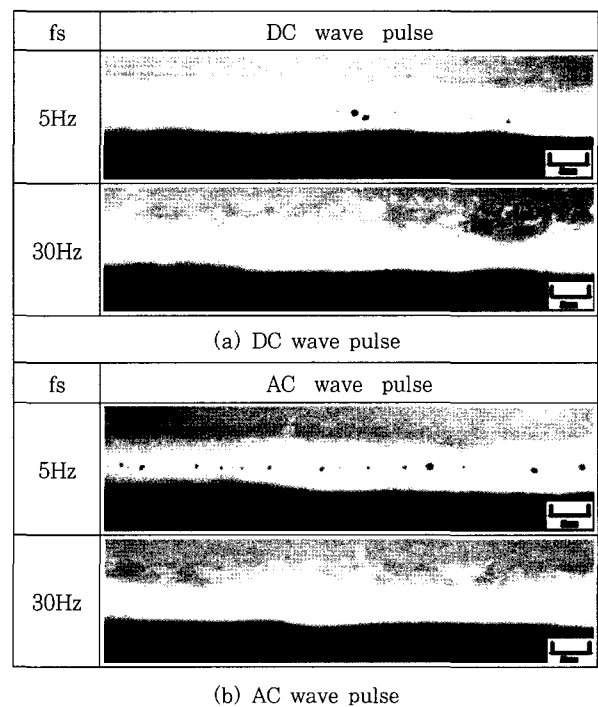


Fig. 15 Blowholes by radiographic examination (KS B 0845)

진을 나타낸 것이다. DC 및 AC 중첩펄스 용접에서 5Hz 일 때보다 30Hz 일 때가 기공이 줄어 든 것을 알 수 있다.

Fig. 16의 (a), (b)는 DC 및 AC 중첩펄스용접에서 주파수 변화에 따른 기공 발생량을 나타내었다. 주파수가 증가 할수록 기공 수는 점차 감소하지만, 크기가 1.0mm이상인 기공은 AC 중첩펄스의 주파수(fs) 30Hz에서 기공 발생량이 가장 적었다. 이것은 DC 및 AC 중첩펄스용접에서 낮은 펄스와 높은 펄스의 주기적인 반복으로 인하여 용융지가 진동하여 용융지 내부의 아연증기가 외부로 배출되기 때문이라고 판단된다.

Fig. 17에 기공 생성의 개략적인 모식도를 나타내었다.

표면 비드쪽은 아크열로 인해 아연이 증발하여 외부로 방출되지만 루트부에서는 용융지의 열로 인해 용융

증발한 아연증기가 배출하지 못하고 높은 아연증기압을 형성한다. 이때, 루트부의 아연증기압이 용융지의 표면장력보다 크게 될 경우 용융지 내부에 기공이 발생하게 되는 것이다. 따라서 기공의 대부분은 루트부에서 생성되어 성장한다.

4.3.2 EN 극성비에 따른 기공발생 특성

Fig. 18, 19는 AC 중첩펄스 용접에서 EN비에 따른 기공 량을 나타낸 방사선 판독 사진과 그래프를 나타낸 것이다. EN 극성비가 30% 되는 곳에서 기공이 가장 작게 되었다. 이것으로 EN 극성비를 증가시키에 따라 평균전류가 작게 되고 입열량이 감소하여<sup>6-7)</sup> 아연 증발량이 적어서 기공이 가장 작게 되었다고 판단된다.

그러나 EN 극성비가 40%가 되면 오히려 기공이 증가하였다. EN 극성비가 40%일 때는 아크가 와이어를 용융시키는데 많은 열량을 소모하고 입열량이 작아 충분한 용융지를 만들지 못하며 아크가 불안정하게 된다. 즉, 용융지가 충분히 유동적이지 못하여 기공의 부상

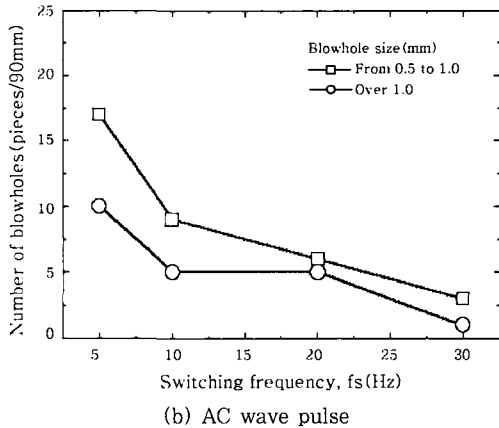
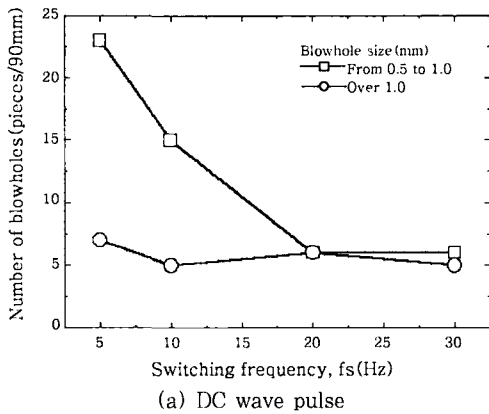


Fig. 16 Number of blowholes by switching frequency

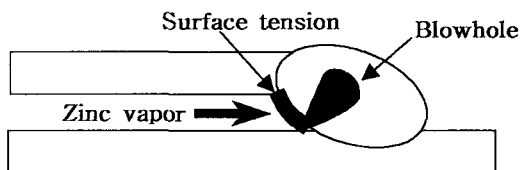


Fig. 17 Schematic illustration of blowhole formation in lap joint of galvanized sheets

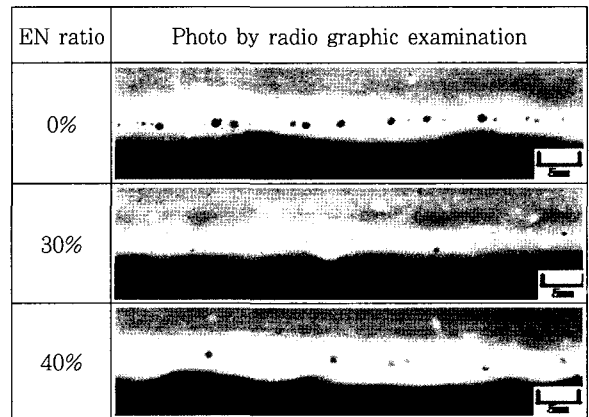


Fig. 18 Blowholes by radiographic examination (AC wave pulse, fs 20Hz)

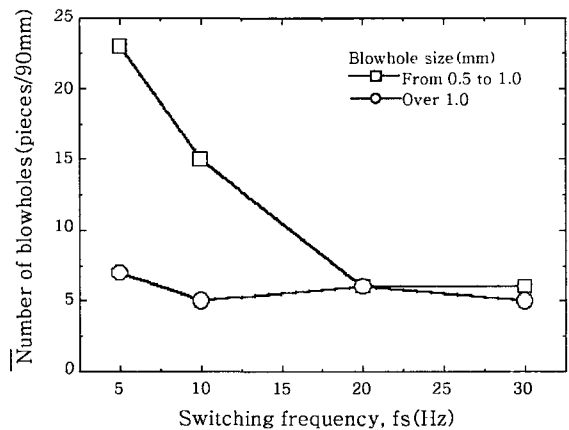


Fig. 19 Number of blowholes by electrode negative ratio(AC wave pulse, fs 20Hz)

소멸이 곤란하였기 때문이라고 판단된다.

#### 4. 결 론

아연도금강판에 대한 중첩펄스 MIG용접에 있어서 파형제어와 기공발생 특성에 관한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) AC 펄스 MIG 용접기에 솔리드 와이어를 사용하여 DC 및 AC 중첩펄스 MIG 용접에 적용한 결과 스팟터가 적고 비드외관이 미려한 용접조건을 확립할 수가 있었다.

2) 아연도금강판의 MIG 용접시 산소를 혼합하여 사용하면 아크의 집중성이 좋아지고 아크길이가 길어지게 된다. 이것은 용융지에서 전자방출이 쉽게 일어나기 때문이라고 판단된다. 또한 동일 용접전압에서도 단락시간비가 감소하여 보다 원활한 스프레이 이행이 되었다. 이것은 용적의 표면에 산화물이 형성되어 그 표면장력을 감소시킴으로서 이행시의 그 직경이 작아졌기 때문이라 판단된다.

3) AC 중첩펄스 용접에서 평균전류를 동일하게 설정하여 EN 극성비를 증가시킬 경우 입열량이 감소하여 아연 도금층의 손실 범위가 작아졌다.

4) 주파수 변화에 따른 기공 발생량은 DC 및 AC 중첩펄스 MIG 용접에서 5Hz 보다 30Hz 일 경우 기공이 감소하였다.

5) EN 극성비에 따른 기공량은 EN 극성비 30%에서 가장 적게 발생되었다.

#### 참 고 문 헌

1. H. Matsui, S. Shionoya : Reduction of Blowholes by the Vibration to Molten Pools in Arc Welding of Galvanized Carbon Steel Sheets, Journal of the Japan Welding Society, 16-1 (1998), 45-50(in Japanese)
2. M. Uchihara, T. Taka, H. Miyazaki : Effect of Welding Conditions and Shielding Gas on Weldability of Zinc-Plated Steel, Journal Welding Society, June (1995), II-105-109 (in Japanese)
3. Hitoshi Matsui, Hiroshi Suzuki et. : Reduction of Blowholes in High Speed Arc Welding of Hot-Dipping Galvanized Steel Sheet, Journal of Japan Welding Society, 15-3 (1973), 476-483 (in Japanese)
4. K. Yasuda, S. Nakano 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 (in Japanese)
5. E.N.Gregory : Welding Zinc Coated Steel, Welding Coated Steel, TWI, 5-12
6. 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)
7. H. S. Kong, S. L. Lim and 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)
8. Doosan World Encyclopedia