

연구논문

## 극성가변 AC 펄스 MIG용접기를 이용한 아크 브레이징

조상명\* · 공현상\*\*

\*부경대학교 신소재공학부 생산가공공학전공

\*\*(주)동화엔텍 연구개발부

### The Arc Brazing by Variable Polarity AC Pulse MIG Welding Machine

Sang-Myung Cho\* and Hyun-Sang Kong\*\*

\*Course of Production & Joining Eng., Div. of Materials Science & Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

\*\*R&D Center, Donghua Entec, 1575-6 Songjeong-Dong, Gangseo-GU, Busan 618-270, Korea

#### Abstract

MIG brazing is used for many parts without melting base metal because of high productivity. Pulsed MIG brazing can be used to further reduce heat input and to improve the process stability. However, a significant amount of zinc in galvanized sheet steel is burned off in the area of brazes. Therefore, the brazing method to reduce the heat input is needed. In the brazing for galvanized sheet steel, variable polarity AC pulse MIG arc brazing can be applied to more decrease the heat input by setting EN-ratio adequately.

In this research, we studied for the variable polarity AC pulse MIG arc brazing to decrease the heat input by using ERCuSi-A wire.

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

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

(Received September 6, 2002)

**Key Words :** Galvanized sheet steel, MIG brazing, Arc brazing, Heat input, EN-ratio, Waveform control, Variable polarity AC pulse MIG arc brazing, Silicon bronze wire

#### 1. 서 론

MIG 브레이징은 MIG용 전원장치에 저융점 와이어를 사용하는 용접법으로서 모재의 용융과 입열을 최소화 할 수 있고, 또한 일반 브레이징 공법에 비해 생산성이 높고 디지털화하여 품질관리를 할 수 있으므로 와이어의 가격이 비교적 고가임에도 불구하고 자동차산업 등에서 많이 사용되고 있다.

펄스 MIG 브레이징은 스프레이 이행을 가능하게 하여 스패터와 입열을 줄일 수가 있다. 특히 아연 도금 강판에서 저융점 와이어를 사용하게 되면 아연의 낮은 융점( $420^{\circ}\text{C}$ )과 증발온도( $906^{\circ}\text{C}$ )로 인하여 발생되는 기공, 응합불량, 크랙, 스패터 등의 문제점을 해결할 수

있으나 여전히 입열이 높아 아연도금층의 손상을 피할 수가 없다. 따라서 입열을 보다 효과적으로 감소시킬 수 있는 새로운 브레이징법이 요구된다.

극성가변 AC 펄스 아크 브레이징법은 DCEP (Direct Current Electrode Positive, 와이어 플러스)보다 와이어의 용융속도가 높지만 용적의 보유 열량이 작은 DCEN(Direct Current Electrode Negative, 와이어 마이너스) 구간을 두어서 두 구간을 주기적으로 반복하는 브레이징법이다.

최근 선진 외국에서 극성가변 AC 펄스를 이용하여 아크 브레이징을 연구한 바가 있으나 저융점 와이어에 적합한 펄스파형을 설정하지 못하여 양호한 브레이징부를 얻지 못하였다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 파형제어를 할 수 있는 AC 펄스 MIG 용접기에 실리콘브론즈 (ERCuSi-A) 와이어를 사용하여 최적의 펄스파형을 설정하고, 모재의 용융과 입열을 최소화 하는 것을 목적으로 하였다. 실험에서는 DC 펄스 및 극성가변 AC 펄스 MIG 브레이징을 실시하여 단락비, 비드외관, 단면, 변형 등을 관찰하였다.

## 2. MIG 아크 브레이징에서의 극성효과 및 EN 극성비

아크에서의 극성은 DCEP와 DCEN으로 나누어진다. 각각의 특성은 다음과 같다.

아크에 있어서 전압강하는 양극 전압강하, 음극 전압강하, 아크 전압강하의 세 부분으로 나눌 수 있다. 양극 전압강하는 1~10V정도이며 음극 전압강하는 10~20V정도이다<sup>2)</sup>.

아크용접에서 일반적으로 사용되는 DCEP의 경우 아크가 와이어 선단부에 집중되고 용적이 과열되어 이행하게 되므로 용입이 깊어진다. 그러나 DCEN의 경우에는 와이어 선단부 뒤쪽까지 아크가 둘러싼 형태로 형성되기 때문에 와이어의 용융속도는 높아지지만 용적의 온도는 낮아지는 특징이 있다. 즉, DCEN에서 와이어가 음극이 되면 비열전자 방출이 되어 전자는 일함수 (work function)가 낮은 산화물에서 우선적으로 방출되어 음극점을 형성하고 이러한 음극점이 불규칙적으로 이동하면서 아크를 형성하기 때문에 아크는 와이어 선단 뒤쪽까지 둘러싸여 용적끝에 집중되지 못한다.

Fig. 1에서와 같이 AC 펄스 파형은 DCEP와 DCEN을 주기적으로 반복하는 것이다. 식 (1)에서 EN 극성비를 조절하여 와이어 용융속도 및 입열량을 제어하기 위해 EN 극성비를 정의하였다.

Fig. 2는 Tomoyuki Ueyama 등이 연구한 Al 용접 시의 EN 극성비에 따른 와이어 용융속도를 나타낸 것이다. 동일 평균전류에서 EN 극성비가 증가할수록 와이어 용융속도가 증가하는 것을 알 수 있다<sup>3)</sup>.

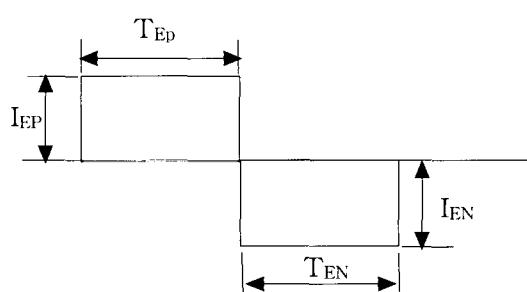


Fig. 1 Definition of current waveform in polarity control AC pulse MIG welding

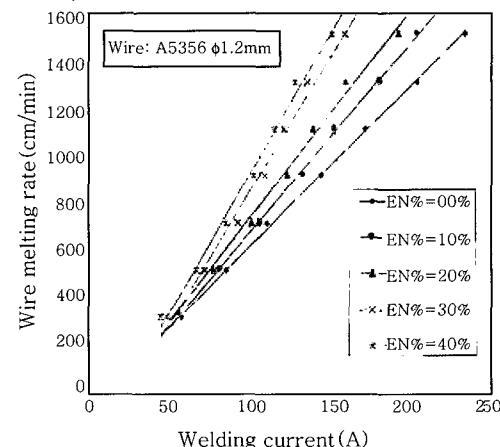


Fig. 2 Relationship between EN ratio and Al wire melting rate<sup>3)</sup>

$$EN \text{ 극성비} = \frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100(%) \quad (1)$$

## 3. 실험재료 및 방법

### 3.1 실험재료

사용된 와이어는 실리콘브론즈 와이어로서 AWS ERCuSi-A(1.2mm)이고, Table 1에 화학성분을 나타내었다. 모재는 두께 1.2mm의 일반 냉연 강판(SPCC)과 전기아연 도금 강판(galvanized sheet steel, EG)을 사용하였다.

### 3.2 실험방법

#### 3.2.1 펄스파형의 설정

본 연구에서는 실리콘브론즈 와이어를 사용하여 AC 펄스용접에서 단락이 없는 스프레이 이행의 1 펄스-1 드롭을 하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 적절한 크기의 용적을 이행시키기 위해 펄스 주파수를 먼저 결정하였다.

일반적인 스틸 와이어를 사용하는 펄스 용접법에서는 용적의 크기를 와이어와 비슷하거나 약간 크게 하고 있다. 실리콘브론즈 와이어에서도 이와 비슷한 용적의 크기로 이행시키기 위해 펄스 파형의 피크전류와 피크시간을 조절하여 적절한 조건을 찾아내는 것으로 실험을 실시하였다.

Table 1 Chemical composition of ERCuSi-A wire (wt. %)

Cu	Zn	Sn	Mn	Si	Fe	Al	Pb
Bal.	0.013	0.056	0.88	3.08	0.06	0.009	0.008

아크 모니터링 시스템을 사용하여 주파수, 단락횟수, 단락시간비 등을 계측하여 파형의 적절성을 평가하였다.

### 3.2.2 DC 펄스 MIG 아크 브레이징

스틸 와이어와 실리콘브론즈 와이어의 비교 실험은 브레이징속도 80cm/min, 와이어 송급속도 58mm/sec의 조건으로 비드 브레이징과 겹치기이음 브레이징을 실시하여 비드외관과 용입부 단면을 관찰하였다. Table 2에 와이어 종류에 따른 전류와 전압을 나타내었다.

### 3.2.3 극성가변 AC 펄스 MIG 아크 브레이징

브레이징속도 80cm/min, 와이어 송급속도 58mm/sec로 동일하게 유지 하였고, 비드 브레이징과 겹치기이음 브레이징을 실시하여 비드외관과 용입부 단면, 브레이징 직후의 최고온도, 브레이징 후의 변형량 등의 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 EN 극성비에 따른 온도변화를 측정하기 위해서 열전대의 부착위치를 표시한 것이다. 브레이징부 이면에 아크 시작점 위치로부터 3개의 열전대를 각각 부착하여 피크온도를 측정하였다.

Fig. 4는 EN 극성비 변화에 따른 변형실험의 시험편 규격을 나타낸 것으로 길이 200mm, 폭30mm, 두

Table 2 Current and voltage by kind of wire

Wire	Current (A)	Voltage (V)
Steel wire	220	24
CuSi wire	142	18.3

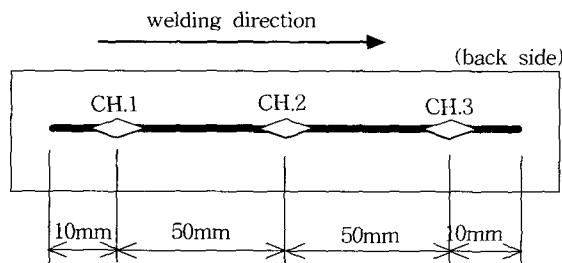


Fig. 3 Attach position of thermocouples for measurement of brazing temperature

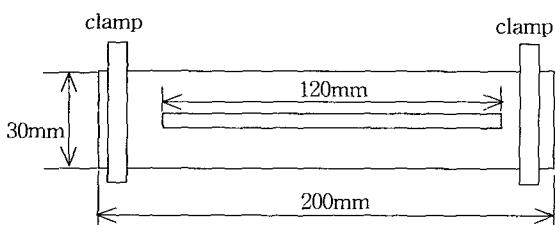


Fig. 4 Configuration of specimen for measurement of brazing deformation

께 1.2mm의 냉연강판을 사용했으며, 브레이징부 길이를 120mm로 하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 펄스 파형의 설정

#### 4.1.1 DC 펄스 파형의 설정

Fig. 5는 주파수에 의한 용적의 크기를 나타낸 것으로서 주파수가 증가할수록 용적의 크기가 작아지는 것을 보여주고 있으며, 와이어 직경과 동일한 크기의 용적의 주파수는 121Hz이다.

본 연구에서는 용적의 직경을 와이어 직경보다 약간 크게 설정하였다.

Fig. 6은 피크전류시간을 고정하였을 때 피크전류 변화에 따른 단락 시간비를 나타낸 것이다.  $I_p=340A$  근방에서 단락 시간비가 가장 적은 것을 보이고 있다. 단락 시간비의 감소는 스프레이 이행 정도의 증가를 의미하며 단락 시간비가 작은 것이 스패터 저감에 유리하다고 할 수 있다.

실험에서는 피크전류와 피크시간을 적절히 조절하여

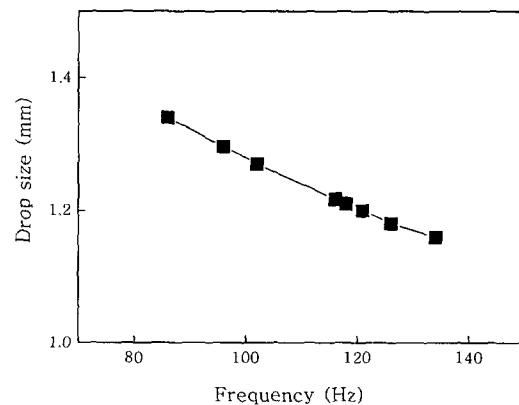


Fig. 5 Drop size by frequency in pulse MIG brazing

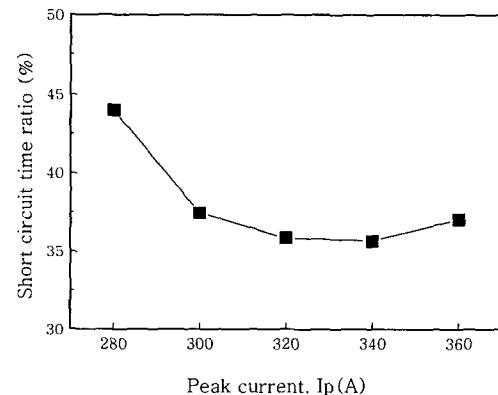


Fig. 6 Short circuit time ratio by  $I_p$  in pulse wave (Fixed  $T_p$ )

단락 시간비, 정상단락, 순간단락의 횟수 등을 검토하여 단락의 발생과 스파터의 발생이 없는 조건의 펄스파형을 설정하였다.

Fig. 7은 사용한 용접기의 디폴트 파형으로 아크 브레이징을 한 것으로서 파형에서 단락이 심하게 발생된 것을 알 수 있다. 위쪽 파형이 전류이고 아래쪽은 전압이다.

Fig. 8은 본 연구에서 수행한 실리콘브론즈 와이어에 적합한 펄스 파형을 설정하여 아크 브레이징을 한것으로서 단락의 발생이 적고 비교적 양호한 브레이징 파형을 볼 수가 있다.

Fig. 9는 파형개선전과 후의 브레이징 외관을 나타낸 것으로서 파형개선 후에서 스파터가 없는 양호한 브레이징부를 볼 수가 있다.

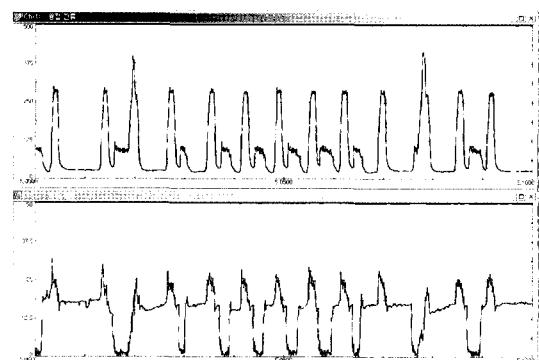


Fig. 7 Before improvement of waveform  
(Default value)

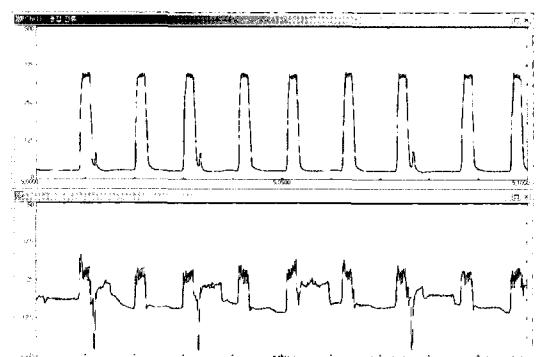


Fig. 8 After improvement of waveform

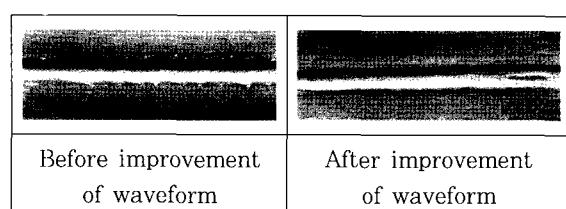


Fig. 9 Bead shape by DC pulse MIG brazing  
(silicon bronze wire, SPCC)

#### 4.1.2 AC 펄스 파형의 설정

Fig. 10은 실리콘브론즈 와이어에 적합하게 설정된 AC 펄스 전류파형과 비드외관을 나타낸 것으로 EN 구간이 있는 것을 볼 수 있다. 전류파형에서 단락의 발생이 없고, 비드외관에서 스파터가 없는 양호한 브레이징 부를 볼 수 있다.

Fig. 11은 Joseph 등이 연구한 일반 극성가변 전류파형을 이용한 브레이징의 전류파형과 비드외관을 나타낸 것이다. 실리콘브론즈 와이어를 사용하고 AC펄스파형으로 브레이징을 하였으나 실리콘브론즈 와이어에 적합한 파형을 설정하지 못하여 단락이 심하게 발생하였고 브레이징부 주위에 단락으로 인한 스파터가 있는 것을 볼 수 있다<sup>1)</sup>.

#### 4.2 DC 펄스의 와이어 종류에 따른 비교

Fig. 12는 겹치기이음 브레이징부로서 브레이징속도

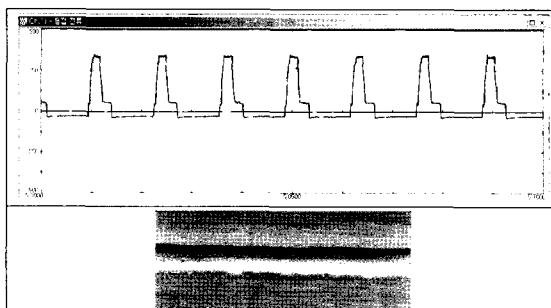


Fig. 10 After improvement of waveform in AC pulse MIG brazing

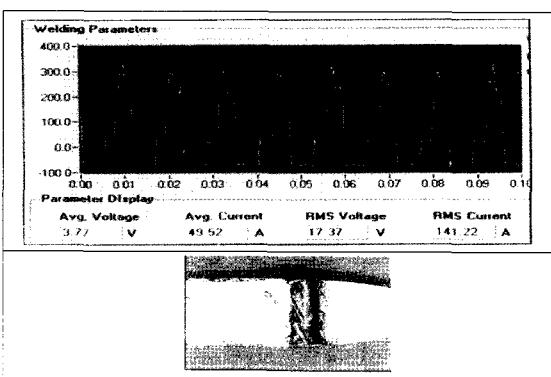


Fig. 11 Typical variable polarity MIG waveform in AC pulse MIG brazing<sup>1)</sup>

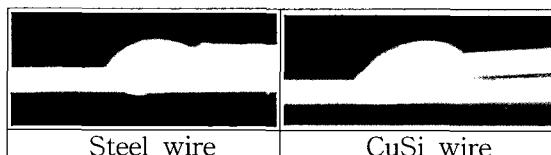


Fig. 12 Bead cross-section by kind of wire in Lap joint (same wire feed speed, SPCC)

80cm/min, 와이어 송급속도 58mm/sec로 같게 유지하여 스틸 와이어와 실리콘브론즈 와이어에 대하여 평가한 것이다. 스틸 와이어의 경우에는 용락이 발생하였지만 실리콘브론즈 와이어의 경우에는 양호한 브레이징부를 볼 수 있다.

Table 3은 동일 송급속도에서 와이어 종류에 따른 입열량을 나타낸 것으로서 실리콘브론즈 와이어가 스틸 와이어 보다 약 50%정도 작은 것을 알 수 있다.

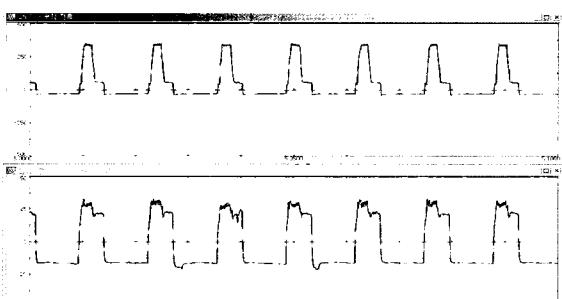
#### 4.3 극성가변 AC펄스의 EN극성비 효과

Fig. 13은 EN극성비 40%일때의 전류(위쪽)와 전압의 모니터링 파형으로서 EP구간과 EN구간이 주기적으로 반복되는 AC 파형을 볼 수 있다.

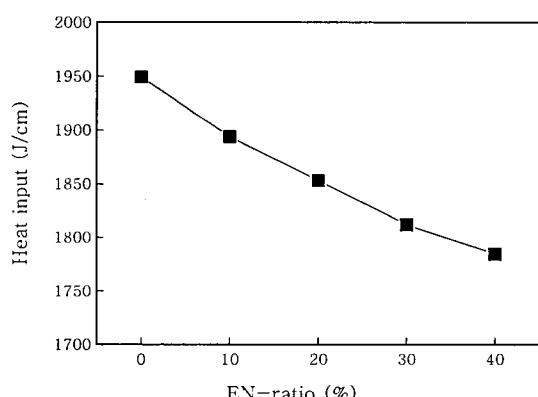
Fig. 14는 용접속도 80cm/min, 와이어 송급속도 58mm/sec에서의 EN극성비 증가에 따른 입열량을 나

**Table 3** Heat input by kind of wire (same wire feed speed, SPCC)

Wire	Heat input (J/cm)
Steel wire	3960
CuSi wire	1948



**Fig. 13** Waveform at EN-ratio 40% (setting current 60A, AC pulse MIG)



**Fig. 14** Heat input by EN-ratio (same wire feed speed, AC pulse MIG)

타낸 것으로서 EN극성비가 증가할수록 실효전류가 작아져 입열량이 작아지는 것을 나타내고 있다.

Fig. 15는 EN극성비 변화에 따른 비드단면 사진으로서 EN극성비 40%가 EN극성비 0%보다 용존의 온도가 낮아 비드폭이 좁고 비드 높이가 높은 것을 알 수 있다.

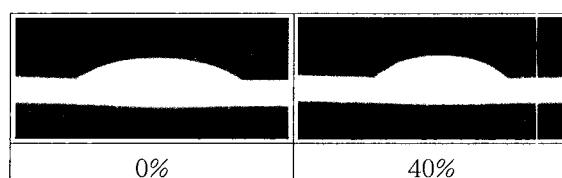
Fig. 16은 아연도금강판의 겹치기이음 브레이징을 한 것으로서 EN극성비 40%가 EN극성비 0%보다 입열량이 작아 상판모재의 용융이 적고 비드가 불혹한 것으로 나타났다.

Fig. 17은 아연도금강판에서의 EN극성비 변화에 따른 실험으로서 EN극성비 40%가 EN극성비 0%보다 아연도금층 손상의 폭이 좁은 것을 확인할 수 있다. 따라서 EN극성비를 적용하여 브레이징을 하게 되면 아연도금층의 손상을 줄일 수 있을 것이다.

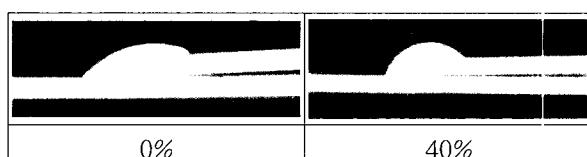
Fig. 18은 아크개시 위치로부터의 브레이징 후 모재의 최고온도를 그래프로 나타낸 것이다.

EN극성비 40%가 최고 111K 정도 낮은 온도를 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 EN극성비 40%가 EN극성비 0%보다 입열량이 낮기 때문이라고 판단된다.

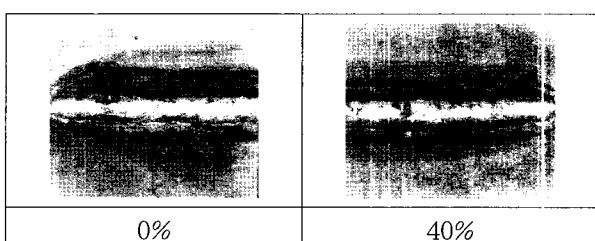
Fig. 19는 브레이징이 끝난 직후에 클램프를 세거하



**Fig. 15** Shape of bead cross-section by EN-ratio (AC pulse MIG, SPCC)



**Fig. 16** Shape of bead cross-section by EN-ratio in Lap joint (AC pulse MIG, EG)



**Fig. 17** Bead shape by EN-ratio in Lap joint (AC pulse MIG, EG)

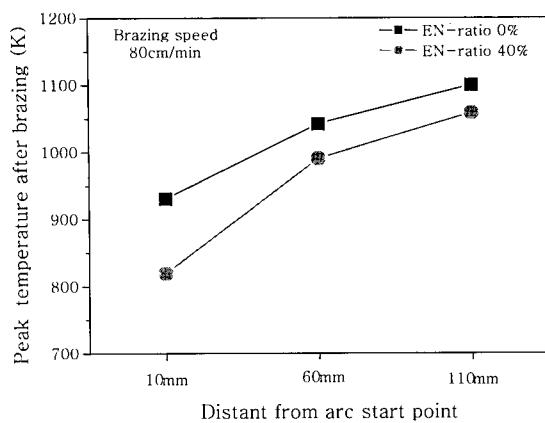


Fig. 18 Peak temperature after brazing by EN-ratio (SPCC)

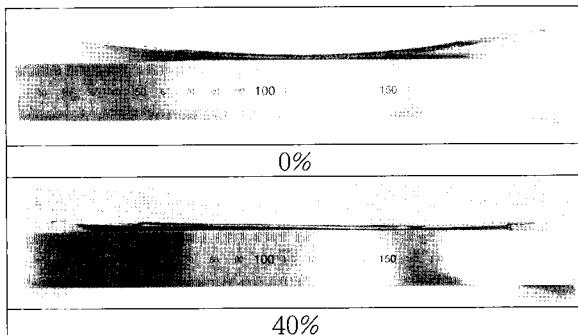


Fig. 19 Base metal after brazing by EN-ratio

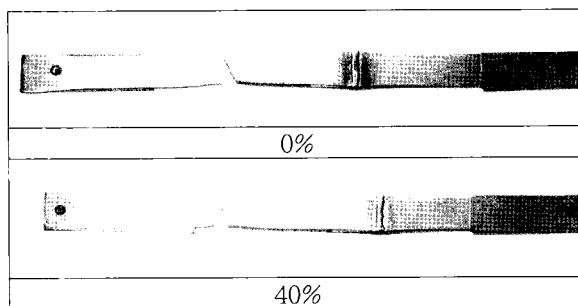


Fig. 20 Result of tensile test by EN-ratio

여 변형된 시험편의 외관을 나타낸 사진이다. 사진에서 EN극성비 40%가 EN극성비 0%보다 변형량이 작은 것을 알 수 있다. 이것은 앞선 실험의 결과에서 나타난 EN극성비 40%의 모재 최고온도가 낮기 때문에 변형이 작게 나타난 것이라고 생각된다.

Fig. 20은 EN극성비 변화에 따른 겹치기 이음 브레이징부의 인장 실험후의 사진을 나타낸 것이다. 순수 인장만을 받게하기 위해 모재의 양단에 보강재를 부착하여 인장실험을 실시하였다. EN극성비 0%와 EN극성비 40% 모두 모재에서 파단된 것을 볼 수 있어 브레이징부 강도가 우수하다고 판단된다.

## 5. 결 론

극성가변 AC 펄스 MIG 용접기를 이용한 아크 브레이징 실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 극성가변 AC 펄스 MIG 용접기에 실리콘브론즈 와이어를 사용하여 스패터가 적고 비드외판이 미려한 아크 브레이징 조건을 확립할 수 있었다.
- 2) 와이어 송급속도를 동일하게 유지하였을 때 실리콘브론즈 와이어의 입열량이 스텔 와이어에 비해 50% 정도로 작아서 용락이 없는 전전한 이음부를 얻을 수 있었다.
- 3) 동일 와이어 송급속도에서 EN 극성비가 증가 할 수록 실효전류가 작게 되어 입열량이 감소하였다.
- 4) SPCC박판 및 아연도금강판에 대하여 극성가변 펄스 MIG 브레이징을 적용한 결과 EN극성비 40%에서도 안정된 비드가 형성되면서 저입열량으로 인해 용락의 우려가 적고 아연도금층의 손상이 적게 나타났다.
- 5) EN극성비가 증가함에 따라 모재의 최고온도와 변형이 작게 되는 것을 알 수 있었다.
- 6) 실리콘브론즈 와이어를 쓰고 EN극성비를 바꾸면서 AC 펄스 MIG 브레이징으로 제작한 박강판 겹치기 이음부에 대한 인장시험 결과 모두 모재에서 파단되어 브레이징부의 강도가 양호한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. A. Joseph, C. Webb : Variable Polarity Improves Weld Brazing of Galvanized Sheet, Welding Journal, October 2001, 36-40
2. ランカスター : 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)
3. T. Ueyama, H. Tong, S. Harada : Improve Sheet Metal Welding Quality & Productivity with AC Pulsed Welding System, IIW Doc. XII-1629-00
4. S. L. Lim : Design Concept and Output Characteristic of AC pulse Waveform for MIG Welding of Al sheet, Master's Thesis of Pukyong National University, 2002.8 (in Korean)
5. T. Mita : New Current Waveform Control for Aluminum Welding, Light Metals Welding, 37-5(1999) (in Japanese)
6. 대한용접학회편 : 용접-접합편, 대한용접학회, 1998 (in Korean)
7. 대한용접학회 : 용접-접합 용어사전, 2001 (in Korean)
8. D. White, J. Jones : Process Modeling With Neural Networks for Pulsed GMAW Braze Welds, The Journal of the Minerals Metals & Materials Society, 49-9, 1997
9. B. Godec, V. Grdun : Braze Welding of Galvanised Steel Pipes, Welding in the World, Vol.45 (2001) 49-56

10. Hackl : MIG Brazing of Galvanised Light-Gauge Sheets, Welding in the World, Vol.45,(2001), 57-64
11. 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)
12. 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)
13. B. Altshuller : A Guide to GMA Welding of Aluminum, Welding Journal, June-1998, 49-55