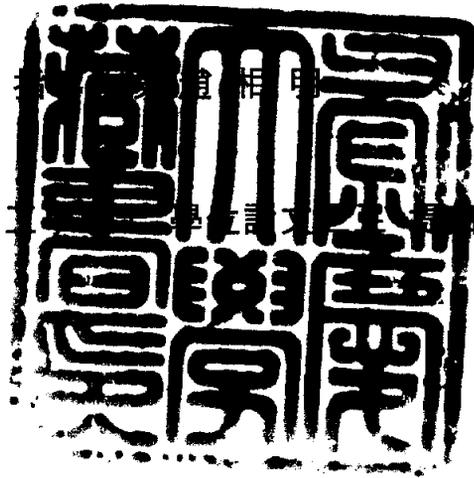


工學碩士 學位論文

2차측 주파수 가변 인버터 AC 저항용접기에  
의한 아연도금강판의 스폿용접 특성

이 論文을



함

2004年 2月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스 工學科

高 美 慧

高 美 慧의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2003年 12月

主 審 工學博士 徐 原 贊 (印)

委 員 工學博士 金 雨 烈 (印)

委 員 工學博士 趙 相 明 (印)

## 목 차

Abstract	1
제 1 장 서 론	2
1.1 연구배경 및 필요성	2
1.2 연구목적	3
제 2 장 이론적 배경	4
2.1 저항 용접	4
2.2 인버터 AC 저항 용접기	7
2.3 용융아연도금강판의 특성과 용접성	18
제 3 장 인버터 AC 저항 용접에서 주파수 가변에 따른 실험	22
3.1 서 언	22
3.2 실험재료 및 방법	16
3.3 실험결과 및 고찰	19
3.4 결 언	25
제 4 장 인버터 및 단상 AC 저항용접기에 의한 용접성 평가 실험	33
4.1 서 언	33
4.2 실험방법	33
4.3 결과 및 고찰	34
4.4 결 언	40
제 5 장 결 론	41
참고문헌	42

# Spot Welding Characteristic of Galvanized Steel Sheet by Variable Secondary Frequency Inverter AC Welding Machine

Mi-Hea, Goh

*Department of Materials Processing Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University*

## Abstract

Galvanized steel sheet is excellent when it comes to corrosion resistance and durability, so it can be used widely in several fields such as car, engineering works, architecture, home electronics.

But there are greatly two problem at galvanized steel sheet resistance weld. The first is difficulty of welding due to narrow range of optimum welding current and high current.

Second cause is electrode pollution(pick up) that zinc of the low melting point(420°C) and copper of electrode made brass.

It is being a lot of studies to solve this problem, but is not readying clear solution yet.

Purpose of this study to make out that minimize electrode pollution to use Inverter AC resistance welding machine that connect inverter controller in existent single-phase.

Key Words: galvanized sheet steel, electrode pollution(pick up), inverter AC resistance welding machine

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 필요성

아연도금강판은 일반 냉연강판에 비해 내식성과 내구성이 우수하여 자동차, 토목, 건축, 가전산업 등 여러 분야에 널리 사용되고 있다.

그러나 생산기술적인 측면으로 보면 저항용접 시 적정용접전류범위와 전극오염의 문제점이 있다. 전자는 적정용접전류범위가 좁고 고전류화가 되는 문제점을 가지고 있고 후자의 경우 금속표면에 도금되어있는 낮은 용점의 아연(420℃)이 전극을 오염(Pick up)시켜 연속타점 시 전극의 수명을 단축시키고 드레싱과 전극교체로 인해 생산성을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 특히, 전극오염에 관한 많은 연구가 되고 있지만 아직 뚜렷한 해결책을 마련하지 못하고 있다. 따라서 전극오염을 최소화 하면서 용접할 수 있는 방법이 필요하다.

## 1.2 연구 목적

보통 저항용접에 주로 사용되는 단상 AC 저항 용접기의 피크전류가 실효치의 약1.7배 정도가 되어 용접부의 온도 변화가 심하지만 인버터 AC 저항 용접기를 사용하면 실효치와 피크전류가 거의 같고 고속제어로 인해 짧은 통전시간을 가질 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 아연도금강판 저항용접 시 전극 오염(pick up)의 문제점을 보완할 수 있는 방법으로 인버터 AC 저항 용접기를 사용하여 2차측 주파수를 변화시키고 인버터 및 단상 AC 저항 용접기에 의한 연속용접성을 검토하는 것이다.

## 제 2 장 이론적 배경

### 2.1 저항 용접

저항 용접은 피용접재의 두 표면을 서로 마주보게 고정시킨 후 가압하여 용접전류를 흘려 두 접촉면에서의 접촉저항 및 고유저항에 의한 발열로 피용접재를 접합하는 용접공정이다.

도체에 전류를 흐르게 하면 도체 내부의 전기저항에 의해 열손실을 일으킨다. 일반적인 전기회로에서는 이와 같은 손실을 최소화하는 방향으로 기술을 발전시키고 있으나, 저항 용접은 발열 손실을 오히려 적극적으로 이용하는 기술이다. 저항체에 전류를 통할 때에 발생하는 열량 즉 전기저항열(줄열)은 다음과 같다.

$$Q = I^2 R t \text{ (J)}$$

$$= 0.24 I^2 R t \text{ (cal) ----- (1.1)}$$

I : 용접 전류	1cal : 4.2 J
R : 저항( $\Omega$ )	1J : 0.24 cal
t : 통전시간(sec)	

즉 저항(R)을 가진 물체에 전류(I)가 t초동안 흘려주면  $I^2 R t$  줄(Joule)이라는 열(Q)이 발생한다.

또한 저항 발열량 Q를 전류밀도의 항으로 표현하면

$$Q = I^2 R t = I^2 \rho \frac{L}{A_s} t \text{ (J) ----- (1.2)}$$

$$= \rho \delta^2 L A_s t \text{ (J)}$$

$$= \rho \delta^2 V t \text{ (J)}$$

$\rho$ : 도체의 고유 저항( $\Omega$ -cm)	$\delta$ : 전류 밀도(A/cm <sup>2</sup> )
-----------------------------------	--------------------------------------

L : 도체의 길이(cm)

$A_s$  : 도체의 단면적( $\text{cm}^2$ )

V : 도체의 체적( $\text{cm}^3$ )

식 (1.1)에서 저항 발열량은 전류의 제곱에 비례하고, 회로 저항과 전류를 흘린 시간(통전 시간)에 비례한다는 것을 알 수 있고, 식 (1.2)에서는 고유저항  $\rho$ 인 도체  $1\text{cm}^3$ 당 매초  $\rho\delta^2(\text{J})$  또는  $0.24\rho\delta^2(\text{cal})$ 의 열이 발생하는 것을 알 수 있다. 즉 용접부에서 단위 시간당의 발열량은 소재의 고유 저항이 높을수록, 전류 밀도가 높을수록 커짐을 알 수 있다. 전류 밀도의 영향은 동일한 전류로 용접을 실시한다고 하더라도 통전 경로의 단면적을 줄임으로써 전류 밀도가 증가하는 것만큼의 발열 효과를 얻을 수 있다.

식(1.1)에 표현된 전류와 시간 그리고, 두 금속의 접촉면에 수직으로 가해지는 압력을 저항용접의 3대 조건이라고 한다. 이 저항용접의 3대 조건에 따라 너깃의 생성유무와 성장속도가 좌우된다.

실제의 용접에서는 이 발열량의 일부가 용접에 사용되며, 나머지는 용접기의 전류 공급회로와 피용접재 내부의 저온 영역으로 손실되어 용접 공정에서의 에너지 효율을 나쁘게 한다. 즉, 저항 용접에서 발생하는 열량은 용접부의 온도 상승에 기여하는 것은 물론 전극-피용접재 계면을 통한 열손실과 피용접재의 다른 부분도 가열하게 되는 것이다. 이러한 요소들은 기존의 열전달 이론으로 해석이 가능하다.

Fig. 2.1은 이러한 해석의 기초 단계로서 점 용접부의 모양을 설명하고 있다. 여기에서 계산의 단순화를 위해서는 일반적으로 다음과 같은 가정을 한다.

- 전극 방향의 열전달을 X방향이라고 한다.
- X방향으로만 열의 손실이 있다.
- 용접부 형성에서의 프링징(fringing) 효과가 없어서 용접전류는 소재의 두께 방향으로 균일하게 흐른다.
- 전극-피용접재 계면의 온도는 항상 일정하다.
- 고유 저항 이외의 각종 물리적 특성은 온도 의존성이 없다.

- 전극-피용접재계면 및 피용접재-피용접재계면에서는 접촉저항이 없다.  
 이러한 가정하에서 해석을 하면 용접부의 중심 온도인  $\theta_{m0}$ 는 재료의 용점 또는 그 온도를 약간 넘는 일정한 값이 된다. 그러나 이러한 해석은 실제로 용접을 실시할 때 잘 맞지 않는 경우가 있다. 그것은 해석을 위해서 도입되었던 각종 가정들의 영향에 기인하기 때문이다.

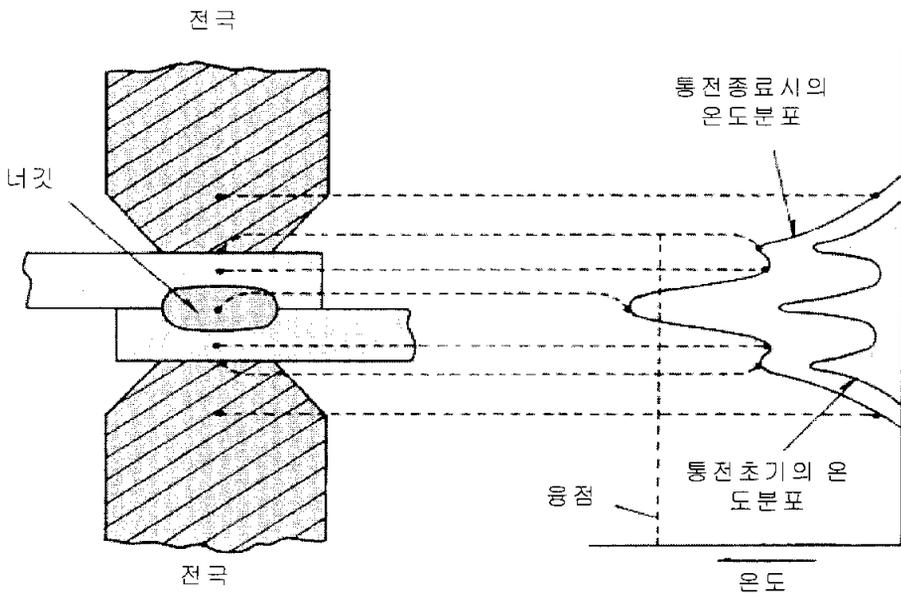


Fig. 2.1 Temperature distribution in resistance welding

## 2.2 인버터 AC 저항 용접기

저항용접 공정에 주로 사용되는 단상 AC 저항용접기는 가격이 싸고 내구성이 우수한 점 때문에 거의 80년 이상을 전 세계의 박판 조립 현장에서 활용되어 왔으나 splash의 발생으로 인한 용접제품 품질 저하나 적정 전류 영역이 좁아서 조건관리가 곤란한 단점이 있다. 인버터 DC 전원은 전류가 안정적으로 출력되는데 반해 매우 고가이다. 이에 반해, 인버터 AC 전원은 기존의 단상 AC 전원용 변압기를 그대로 사용할 수 있고, 제어장치와 3상 전원만을 준비하면 되기 때문에 투자금액이 작아지고 개조공사 기간이 짧아지는 장점이 있다. 또한 변압기 출력 측에 커다란 정류기가 없어지기 때문에 철저한 냉각수 관리 등의 불편과 고가의 변압기 구입 등이 불필요해지는 장점을 가지고 있다.

### 2.2.1 저항 용접기용 인버터 시스템

#### (1) 인버터 동작원리

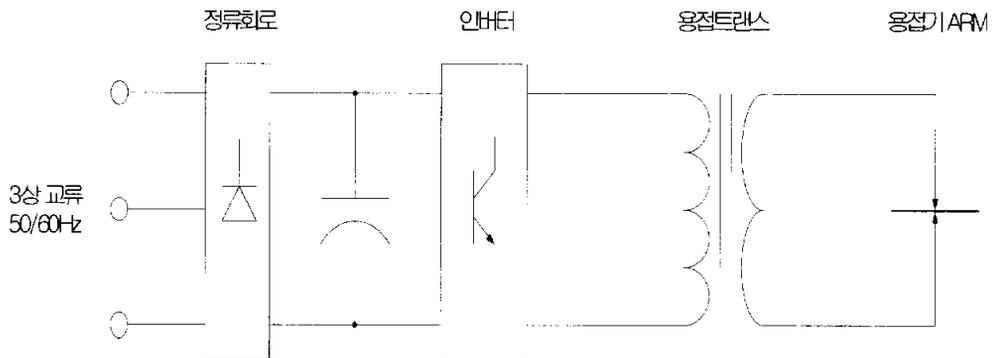


Fig. 2.2 Control principle of Inverter AC resistance welding

Fig. 2.2는 인버터 AC 용접기의 제어원리를 나타낸 것이다.

저항 용접기 인버터의 제어원리는 Fig. 2.2와 같이 상용전원을 직류로

변환시키고, 이 직류를 다시 스위칭 소자(IGBT)를 이용하여 고주파로 변환시킨다. 이 고주파 전력을 변압기에 공급하여 용접에 필요한 저전압 & 대전류로 변환시키는 것이다.

## (2) 용접전류 발생원리

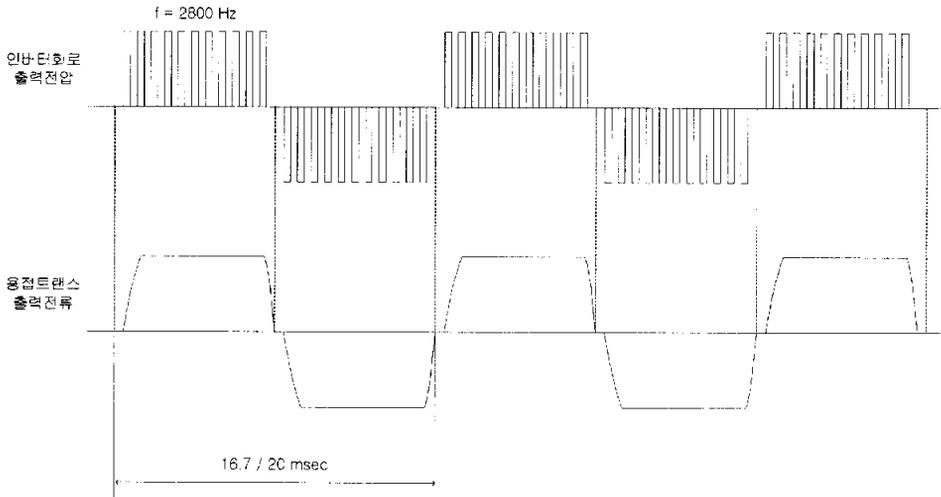
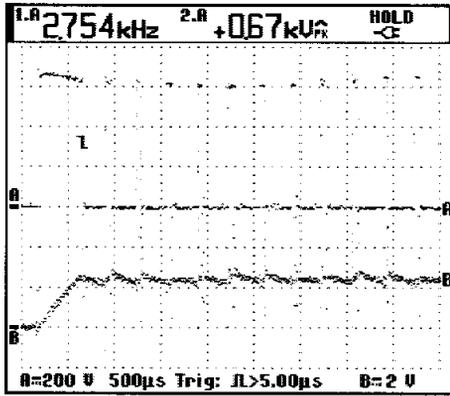


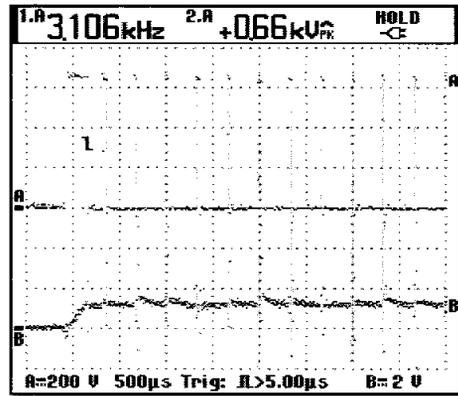
Fig. 2.3 Inverter switching method

Fig. 2.3은 IGBT를 스위칭하는 방법을 나타낸 것이다. 인버터의 펄스 폭 변조 방식(PWM) 출력주파수는 2800Hz이므로 짧은 시간동안 용접전류 제어를 할 수 있어 정밀한 정전류 및 파형 제어가 가능하다.

Fig. 2.4는 제작된 인버터 전력 변환부의 출력 전압 및 전류 파형의 일부분이다. 스킵의 A-채널은 출력 전압으로 약 600V 정도의 DC 용접 전압을 2.8KHz로 PWM 방식으로 스위칭하고 있는 것을 보여준다. B-채널은 5V/1000A 용량의 Hall CT(전류변환센서)로부터 출력 전류를 측정하고 있는 것을 보여준다. (a)는 인버터 출력이 500A 때 CT출력이 약2.5V, (b)는 250A 때 CT출력이 약1.25V로 측정되고 있음을 보여준다.



(a) 500A



(b) 250A

Fig. 2.4 Inverter output voltage and current

### (3) 인버터의 전체 구성

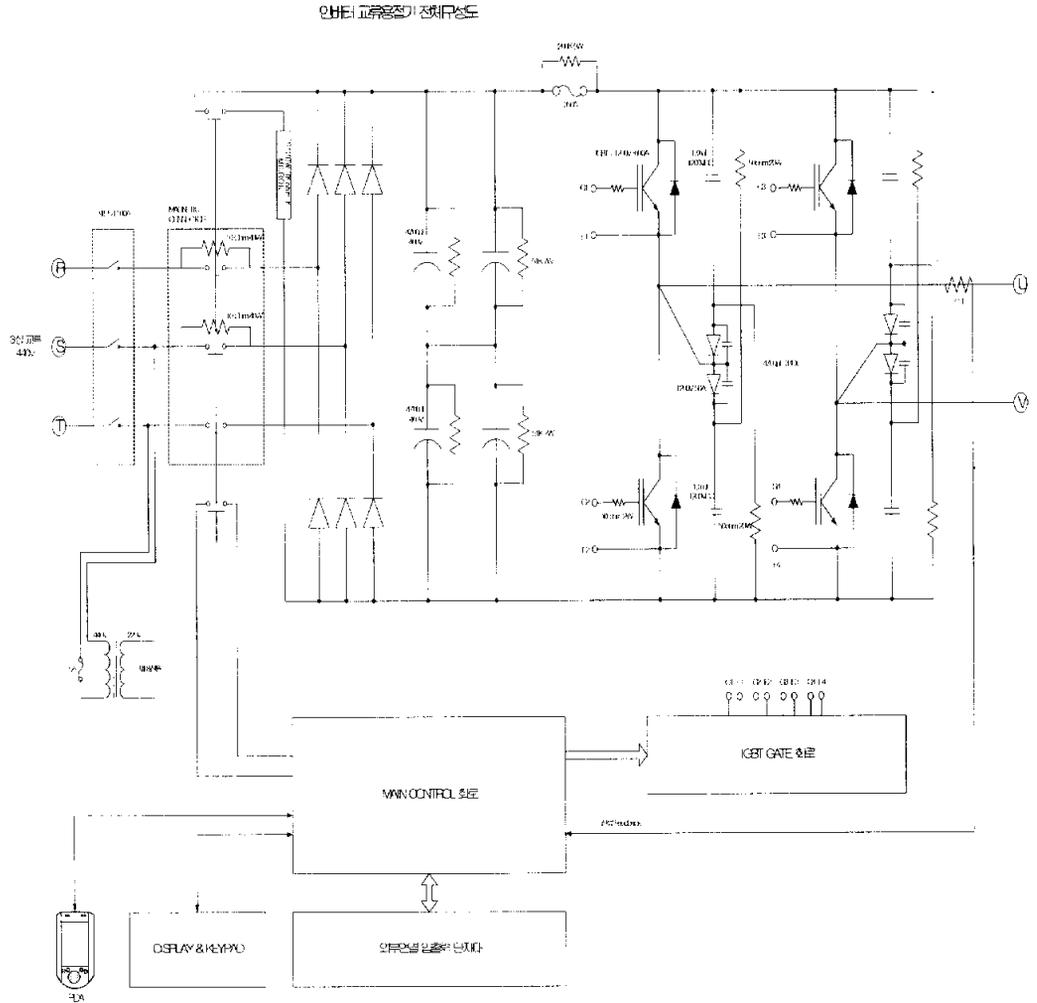


Fig. 2.5 Whole composition of inverter part

Fig. 2.5는 인버터 AC 저항 용접기의 인버터 부분의 전체 구성도를 나타낸 것이다.

#### (4) IGBT Gate 신호발생 방법

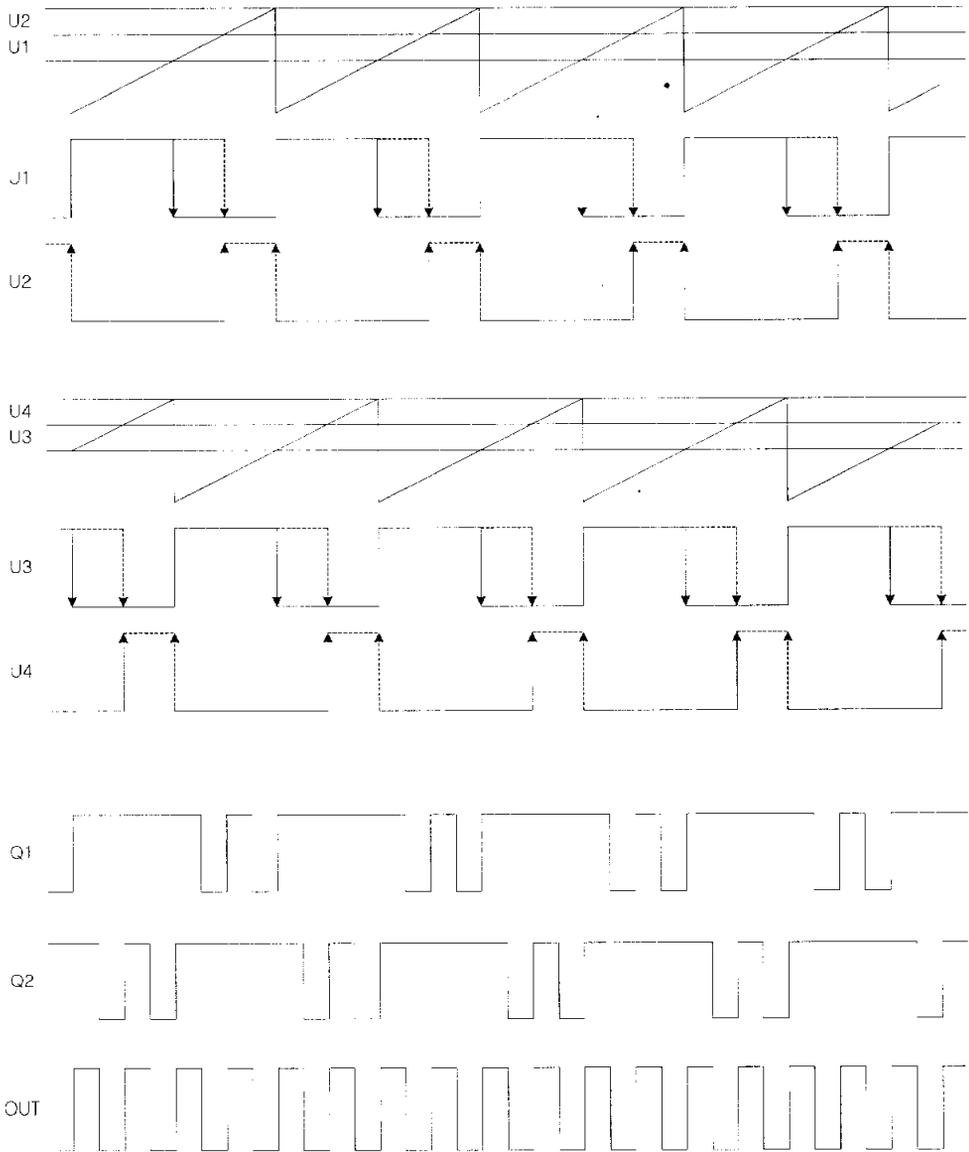


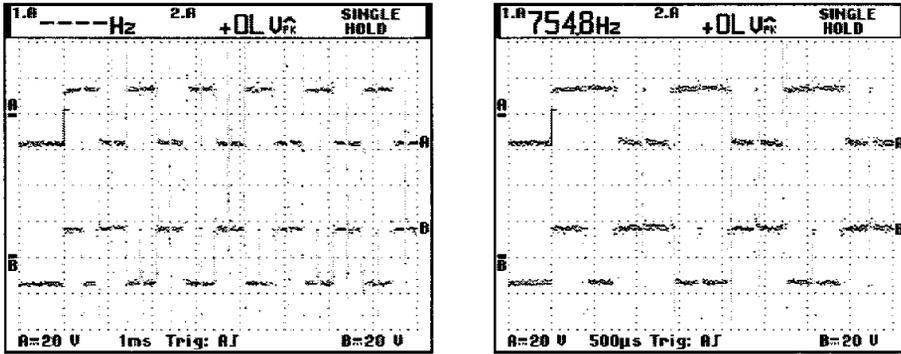
Fig. 2.6 IGBT switching control method  
for inverter power control

Fig. 2.6은 인버터 출력제어를 위한 IGBT 스위칭 조절방법을 나타내고 있다. 500A 정도의 대전류를 흘리기 때문에 스위칭 손실을 줄이는 것이 가

장 중요하다.

제어기의 출력전압은 연속적인 톱니파와 비교되어져 펄스폭 변조 파형을 만들어 낸다. 위 그림과 같이 U1과 U2를 통해 Q1의 IGBT Gate 신호를 만들어지고 U3과 U4를 통해 Q2의 Gate 신호가 만들어진다. 즉 IGBT Q1과 Q2의 신호에 의해 인버터 출력제어 신호인 OUT이 최종적으로 출력된다. 이러한 펄스폭 변조방식을 사용할 경우 인버터의 스위칭 손실은 이론적으로 50%정도 감소하게 된다.

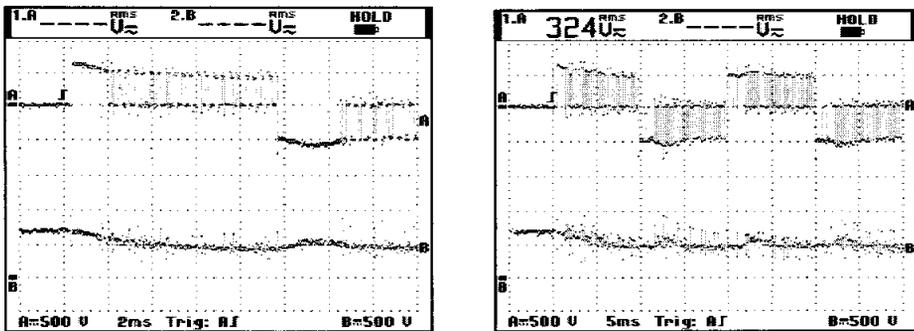
Fig. 2.7은 스위칭 했을 시 IGBT Gate 신호 파형을 측정된 것이다. A-채널은 상측의 IGBT 신호이고 B-채널은 하측의 IGBT 신호이다.



(a) Signal-1

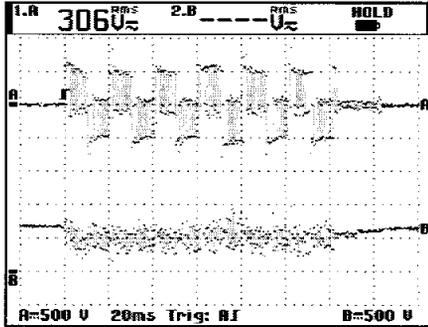
(b) Signal-2

Fig. 2.7 IGBT Gate Signal



(a) Output voltage - 1

(b) Output voltage - 2



(c) Output voltage - 3

Fig. 2.8 Inverter output voltage

Fig. 2.8은 동작시의 인버터 양단간의 출력 및 그때의 P(+), N(-)간의 전압을 보여준다. 여기서 P, N은 3상 전원이 전파 정류 후 평활하게 되어 인버터로 입력되는 DC 전압을 의미한다. 인버터 출력 시에는 전압이 약 500V 근처까지 내려가지만 대기 시에는 즉시 약 700V 부근의 전압으로 안정화되는 것을 볼 수 있다.

## 2.2.2 인버터 AC 저항 용접기의 용접성

인버터 AC 저항 용접기의 저항 용접 특성을 알기 위해 저항용접공정에 주로 사용하고 있는 단상 AC 저항용접기와 비교해 보았다.

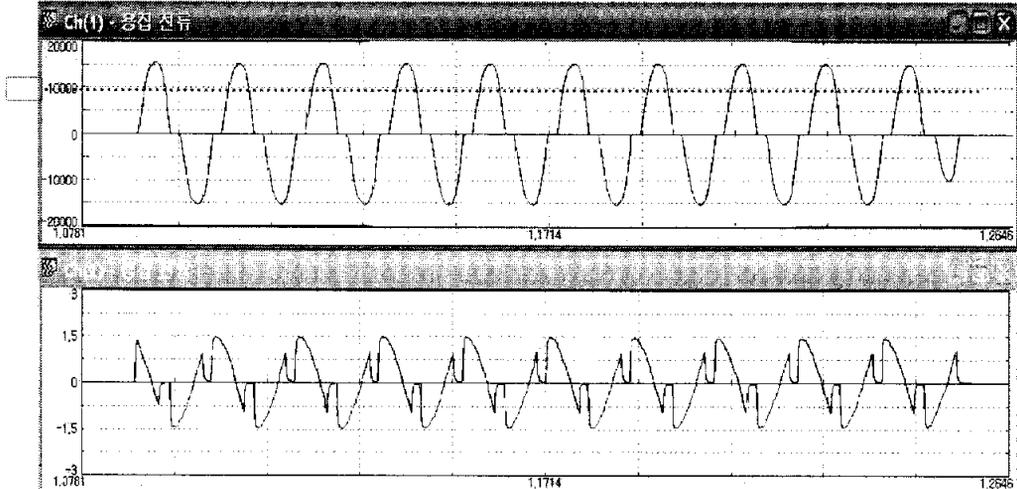
Fig. 2.9는 스폿모니터링 시스템에 의해 계측된 전류, 전압 파형이다. 출력전류 10kA, 10사이클, 가압력 250kgf, DR타입의 전극을 사용하여, (a)는 단상 AC 저항용접기의 전압, 전류파형이고, (b)는 인버터 AC 저항용접기의 파형을 나타내었다.

단상 AC 에서 전류의 파형은 같은 10kA에서 피크치가 아주 높은 반면에 인버터 AC는 실효치와 가까운 피크전류를 나타내고 있다. 그리고, 전압이 초기에 높게 올라가서 전류가 피크치로 올라가는 시간이 단상 AC 보다 인버터 AC 가 더 짧다는 것을 보여주고 있다.

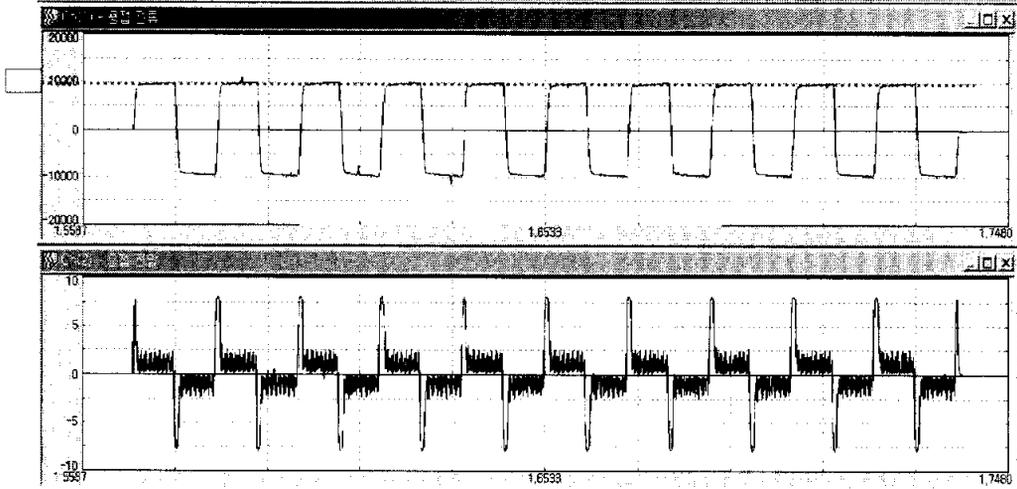
Fig. 2.10은 실효전류에 대한 피크전류의 비를 나타내고 있다. (a)는 단상 AC 저항용접기를 나타내고 있고, (b)는 인버터 AC 저항용접기의 실효전류에 대한 피크전류의 비를 나타낸다. 단상 AC에서는 최소비가 1.414이하로 내려가지 않고 5.0kA에서는 1.8정도에서 출력전류가 증가할수록 낮아져 1.5에서 1.45까지 떨어지게 된다. 인버터는 1.05에서 1.15를 나타낸다. 그래서 단상 AC의 최소치인 1.414보다도 훨씬 낮아 실효전류에 대한 피크전류의 비가 1.1정도로 낮아진다. 인버터 AC 저항용접기는 전류제어를 IGBT의 스위칭에 의해서 고속으로 제어하므로, 피크전류에 이르는 시간이 짧아 실효전류에 대한 피크전류의 비가 1.0에 가까워진다. 그러므로, 순간발열량이 거의 일정하기 때문에 저항발열이 시간에 따라 균일하게 되어, 날림의 발생이 적어지게 되면서도 너짓생성이 안정적으로 될 수 있다.

Table 2.1은 통전시간과 용접전류에 따른 Class AF 적정전류영역을 나타내고 있다. 인버터 AC 저항용접이 단상 AC 저항용접보다 적정전류영역이 더 넓은 것을 알 수 있다. 특히, 통전시간 6cycle에서 인버터 AC 저항용접기는 적정전류범위가 1.5kA로 단상 AC 저항용접이 0.5kA인 것에 비해 넓은 것을 보여주고 있다. 통전시간이 긴 10cycle의 적정범위영역은 6cycle, 8cycle보다 저항발열량이 높기 때문에 0.5kA낮은 전류에서 Class AF를 만족하고 있다. 인버터

AC 저항용접은 같은 용접전류에서 통전시간이 짧게 하는 것이 단상 AC 저항 용접보다 유리하다. Fig. 2.11은 인버터 AC 저항 용접기에서 2차측 주파수를 가변했을 때의 전류 파형을 나타낸 것이다. 주파수가 올라갈 수록 펄스 폭이 작아지고 사이클도 줄어든다.

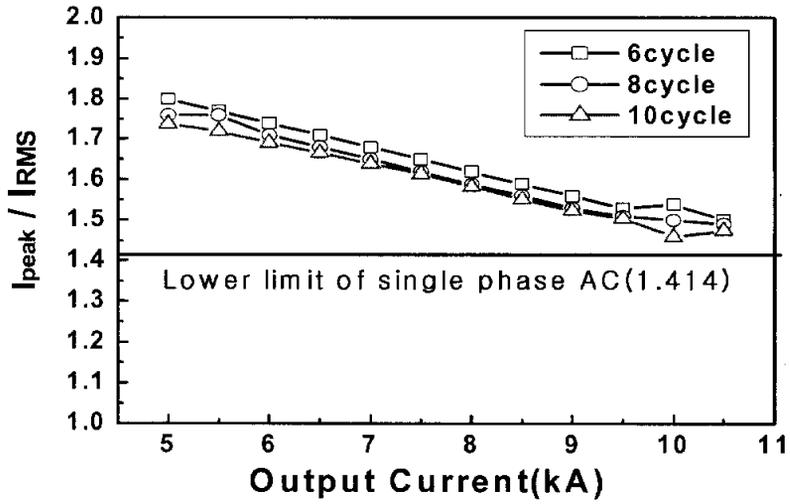


(a) Waveform of single phase AC power source

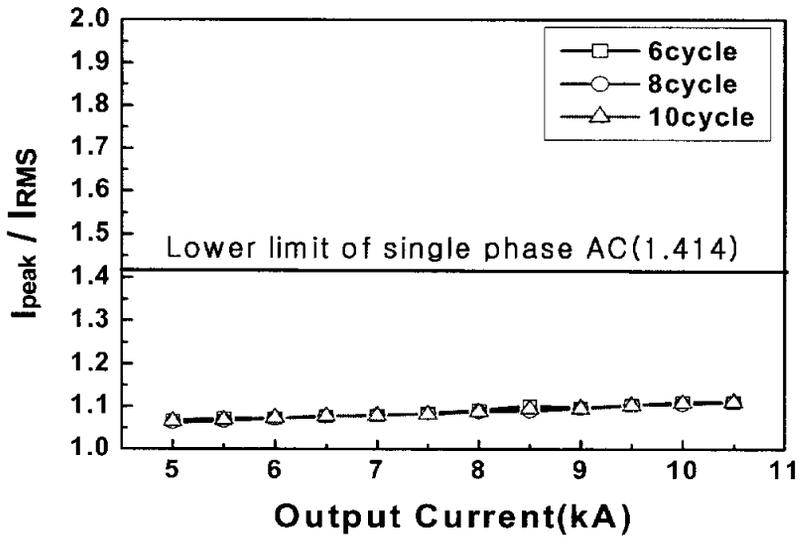


(b) Waveform of inverter AC power source

Fig. 2.9 Waveform by spot monitoring system



(a) Single phase AC spot welding



(b) Inverter AC spot welding

Fig. 2.10 Variation of RMS to peak current

Table 2.1 Optimum Current range for Class AF.

	cycle time	Output Current(kA)						
		6	7	8	9	10	11	12
Single phase AC spot welding	6				■			
	8				■	■		
	10			■	■	■		
AC Inverter spot welding	6				■	■		
	8				■	■		
	10			■	■	■		
Class AF가 얻어지는 적정전류 범위 :		■						

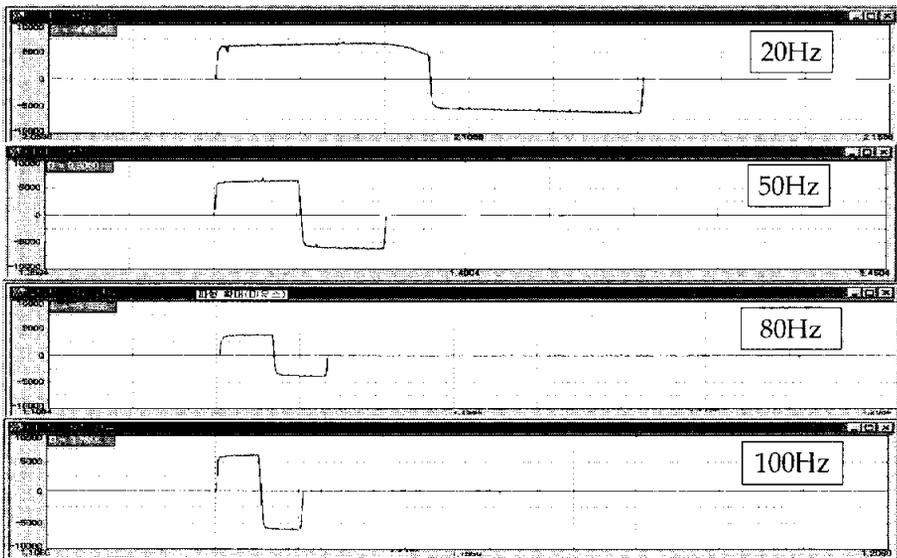


Fig. 2.11 Output current for variable secondary frequency by Inverter AC resistance welding

## 2.3 용융아연도금강판의 특성

### 2.3.1 용융아연도금강판의 기본적인 특성

#### (1) 내식성

##### - 전기화학적인 보호 작용

철보다 이온화 경향이 큰 아연이 탄산아연의 화합물로 되어 철의 표면을 보호하며, 아연의 희생방식에 의하여 강판의 수명이 길어지기 때문이다.

##### - 물리적인 보호 작용

아연 자체는 활성적인 금속으로서 대기 중에 산소와 탄산가스와 반응하여 산화아연, 염기성 탄산아연의 얇은 피막이 형성되어 치밀하고 밀착성이 양호하여 외부의 부식 환경으로부터 녹을 차단하는 일종의 방식피막으로 된다.

##### - 대기 중의 내식성

대기 중의 아연의 내식성은 아황산가스와 같은 유해성분이 존재하는 공기 중에는 부식속도가 급속히 빨라지게 된다. 따라서 용융아연도금강판의 수명은 아연부착량에 비례하지만 동일 부착량인 경우는 사용환경에 따라 크게 변화한다.

#### (2) 가공성

연속아연도금공정에서 제조되는 용융아연도금강판은 아연의 부착성이 뛰어나고, 취약한 철-아연 합금층이 아주 얇으므로 드로잉 가공을 받아도 도금층이 거의 박리되지 않는다.

#### (3) 도장성

용융아연도금강판은 최종적으로 도장하여 사용하는 경우가 대부분인데 도장막 밀착성 및 도후성 내식성은 도장 전처리 공정에 따라 많은 영향을 받는다. 도장 전 탈지 처리를 완벽하게 해야만 우수한 도막 밀착성을 얻을 수 있다.

## 2.3.2 용융아연도금강판의 저항 용접성

### (1) 저항 용접의 특성 및 공정변수

저항 용접은 우수한 작업성, 경제성, 생산성을 갖는 용접법으로 용융아연도금된 박강판 용접의 많은 부분이 이 용접법으로 이루어지고 있다. 저항 용접에서 용접품질에 영향을 주는 공정변수들은 용접전류, 통전시간, 전극 가압력 등 기본적인 것은 물론, 전류파형, 전극의 냉각조건, 통전횟수, 피용접재의 표면상태와 재질 등이 있다. 그 밖에도 용접장치, 용접전극의 재질과 형상 등이 용접품질에 영향을 준다.

### (2) 도금층의 영향

도금 부착량이 증가되면 너깃형성을 위한 최소 용접전류와 스파터 발생전류 상승의 증가로 용접전류의 범위가 감소되어 접촉저항이 낮아진다. 따라서 용접성이 저하되는 경향이 생기는데, 합금화 용융아연도금강판(GA)은 용융아연도금강판(GI)에 비하여 도금층의 경도가 높고 용점이 다소 높아 이 형상이 비교적 둔감하다.

### (2) 용접부 형성의 특징

저항 용접 시 경도가 낮은 아연도금 피막은 철에 비해 전기 전도성이 좋아 판 접촉면에서의 전기저항을 적게하여 발열량이 적어질 뿐 아니라, 용점이 낮은 아연 및 아연 합금층이 먼저 용융하여 전류통로가 넓어지므로 피용접재와 전극과의 통전면적이 증가하게 되므로 전류밀도가 저하되어 발열이 적게된다. 따라서 너깃(Nugget) 형성 시간이 길고 그 크기도 작아져 이음강도가 저하될 수 있기 때문에 용접전류를 10 ~ 30% 강하게 하여야 한다.

### (4) 연속타점특성

- 전극 선단부의 마모 또는 변형은 전극과 판의 접촉면적을 증가시키고 불균일하게 하므로 너깃형성에 필요한 전류밀도가 일정치 않게 된다.

- 아연도금강재는 연속타점수명(너깃지금이  $4\sqrt{t}$  이하가 되는 타점수)이 일반 냉간압연 강재에 비하여 짧다.
- 용점이 낮은 아연이 전극에 따라 올라오므로 강판의 아연 부착량이 증가되면 연속타점수명이 저하된다. (전극표면은 Fe-Zn층과 Cu-Zn층이 생겨 오염이 되고, 접촉저항이 높아져 가열되므로 전극마모가 일어남)

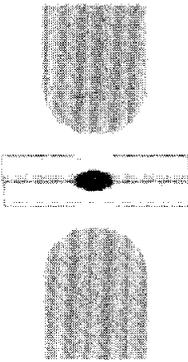
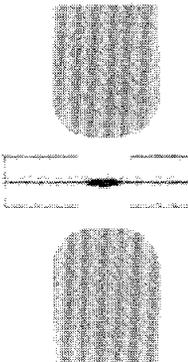
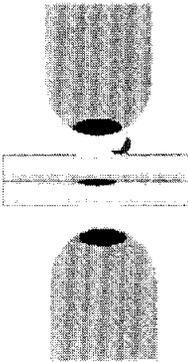
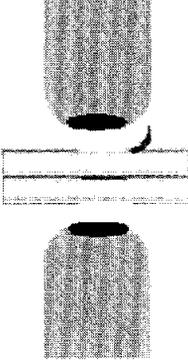
#### (5) 전극 형상과 상태에 따른 용접 현상

Table 2.2는 아연도금강판 용접에서 전극 형상과 상태에 따른 용접현상을 나타낸 것이다. 모재는 아연도금강판이고 전극의 형상과 상태를 ABCD로 나타내었습니다. A는 전극선단직경이 작고 표면이 양호한 상태이고 B는 선단직경이 크고 표면이 양호한 상태, C 표면이 오염된 상태, D는 선단직경이 크고 표면이 오염된 상태를 나타내었다.

전극의 선단직경을 크게 한 것은 연속타점 시 전극 단면적이 거지는 것을 고려한 것이고 표면이 오염된 것은 아연도금강판의 아연과 전극의 동이 합금화를 일으켜 황동을 형성되고 아연이 산화되어 표면이 오염이 된 것을 검정색으로 나타냈다.

이를 용접했을 때 다음과 같은 용접 형상이 나타난다. A는 적당한 너깃이 형성이 되지만 선단직경이 커진 B의 경우는 전류밀도가 작아져 A에 비해 적은 너깃이 형성된다. C와 D의 경우는 황동의 고유저항이 크고 표면의 오염으로 인해 전극과 모재간의 접촉저항이 커지게 되어 표면날림이 발생한다. 너깃경도 C는 A에 비해 작아지고 단면적이 커진 D는 너깃이 거의 생성되지 않아 Shear 과단이 나타난다. 따라서 아연도금강판 시 전극의 오염이 심각함을 알 수 있다.

Table 2.2 Welding phenomenon for electrode shape and state at galvanized sheet steel welding

A. 선단직경 작고 표면이 양호	B. 선단직경 크고 표면이 양호	C. 선단직경 작고 표면이 오염	D. 선단직경 작고 표면이 오염
			

## 제 3 장 인버터 AC 저항용접에서 주파수 가변에 따른 실험

### 3.1 서 언

용융아연도금강판을 저항용접 시 전극 오염으로 인한 문제점을 해결하기 위해 단상 AC 저항 용접기에 비해 전류가 안정적으로 출력되고 Splash발생이 적은 인버터 AC 저항 용접기를 사용하였고, 인버터 AC 저항 용접기의 2차측 출력 주파수를 상용주파수보다 올려 주파수에 의한 용접부 표면의 아연용융경과 너깃경을 비교 분석하여 보았다.

## 3.2 실험 재료 및 방법

### 3.2.1 실험 재료

본 연구에 사용된 모재는 두께 1mm, 양면 도금량  $275\text{g}/\text{m}^2$ 의 용융아연도금강판(GI : Galvanized Steel)을 사용하였다.

Fig. 3.1은 용접시험편 모식도이다. 용접 시험편의 형상을 KS D 4043 점용접 및 프로젝션 용접부의 현장 시험 방법에 준하여 결정하였다.

Fig. 3.2는 전극팁의 모식도를 나타낸 것이다. 전극은 도전을 75%이상의 크롬동을 사용하였으며 전극 형상은 직경 16mm, 선단경이 6mm인 DR type 전극을 사용하였다.

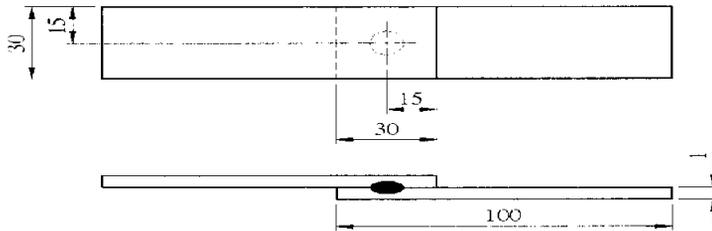


Fig. 3.1 Configuration of welding specimens

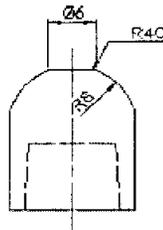


Fig. 3.2 Configuration of electrode tip

### 3.2.2 실험 방법

Fig. 3.3은 실험에 사용한 용접기이다. 기존의 단상 AC 저항 용접기의 변압기를 그대로 사용하면서 콘드롤러만 교체한 인버터 AC 저항 용접기를 나타낸 것이다. 공기압 조절 방식이고, 정치형 직상 가압형태이다.

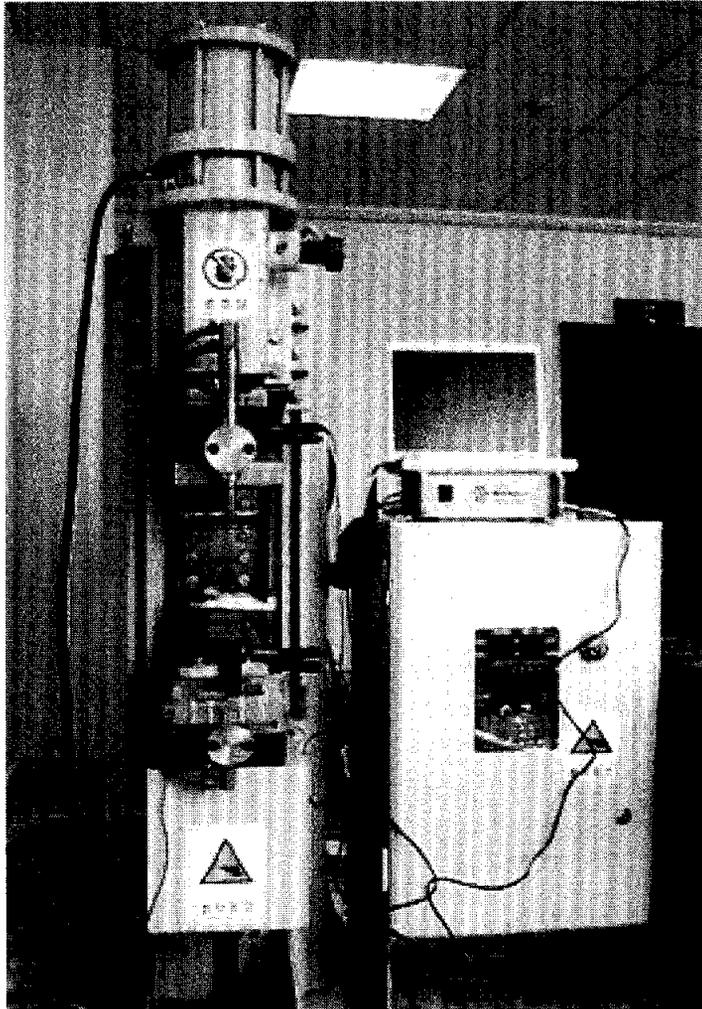


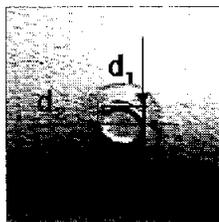
Fig. 3.3 The welding machine used for welding experiments

Table 3.1은 용접 조건을 나타낸 것이다. 가압력은 200kgf로 동일하게 주고 2차측 주파수를 50Hz일 때 통전시간을 10cycle, 100Hz일 때 20cycle로하여 용접 전류를 변화시켜가며 용접하였다.

Table 3.1 Welding condition

Electrode force (kgf)	Secondary Frequency (Hz)	Welding Time (Cycle)	Welding current (kA)
200	50	10	6.0kA ~ 13.0kA
	100	20	

Fig. 3.4는 필테스트 후 너깃경 측정을 나타낸 것이다. 현장에서 설비 부재 등의 문제로 정식으로 시험을 실시하기 어려울 경우에 쉽게 실시할 수 있는 파괴시험방법으로 필 테스트를 많이 사용한다.



Nugget Diameter,  
 $dN = (d1 + d2) / 2$

Fig. 3.4 Nugget diameter measurement of peel test

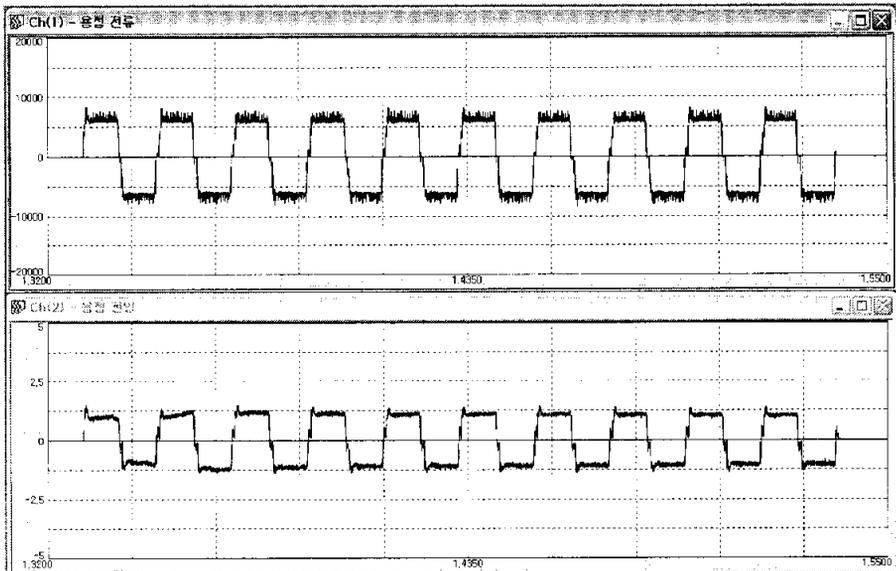
### 3.3 실험 결과 및 고찰

#### 3.3.1 주파수 가변에 따른 전원 특성

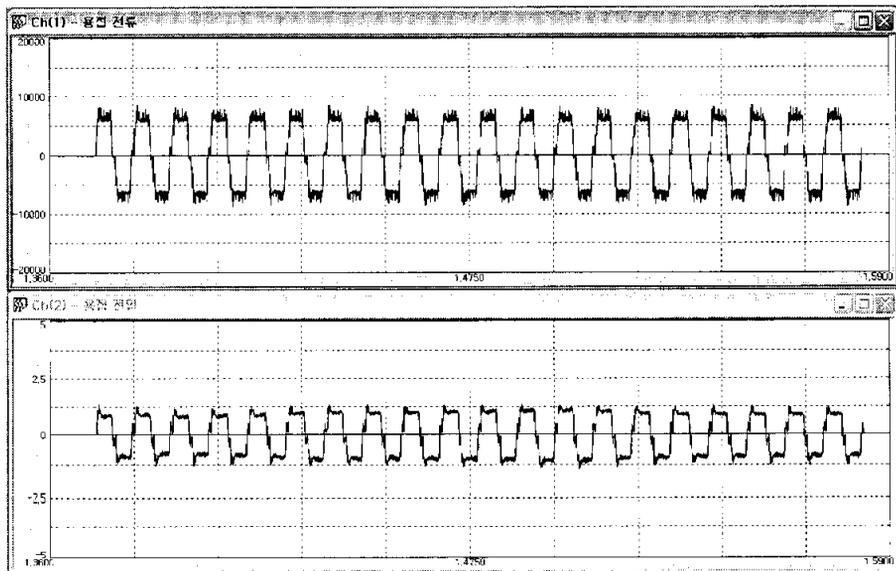
Fig. 3.5는 인버터 AC 저항 용접에 의한 2차측 주파수 가변에 따른 용접전류, 전압의 모니터링 파형을 나타낸 것이다.

주파수 50Hz에서 100Hz로 가변 시 1cycle당 통전시간이 2배정도 작게 나타난다. 따라서 동일 용접조건을 설정하기 위해 통전시간을 50Hz에서 10cycle, 100Hz에서 20cycle로 주었다.

Fig. 3.6은 주파수 가변 시 입력전류에 대한 출력전류와 출력전압을 나타낸 것이다. 출력전류는 50Hz가 100Hz에 높게 나타나지만 출력전압은 100Hz가 높게 나타났다.

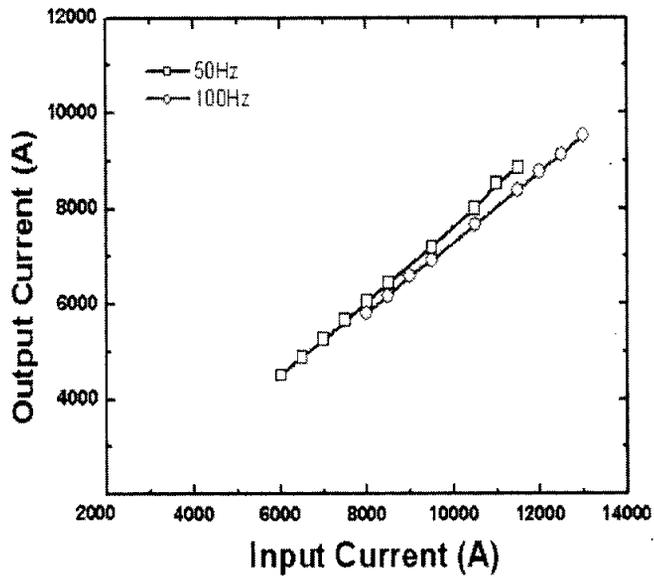


(a) 50Hz

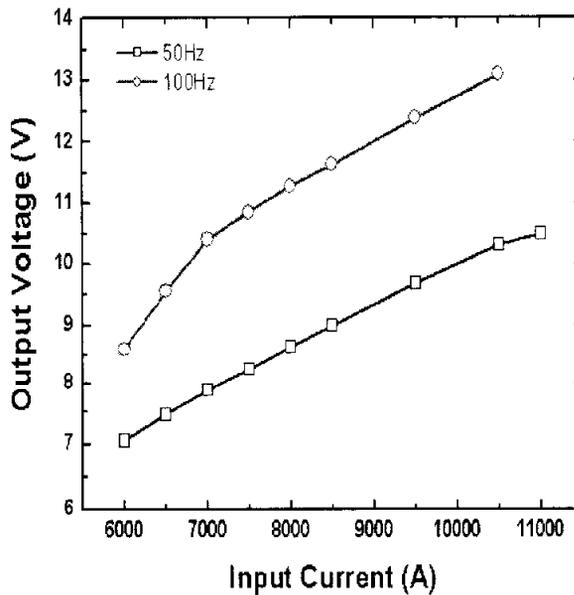


(b) 100Hz

Fig. 3.5 Waveforms for variable secondary frequency by Inverter AC resistance welding (Force 200kgf, 1t, 8000A)



(a) Output current by Input current



(b) Output voltage by Input current

Fig. 3.6 Output current and voltage for Input current by variable Secondary frequency (Force 200kgf, 1t)

### 3.3.2 주파수 가변에 따른 저항 용접성 검토

Fig. 3.7은 주파수가변에 의한 입력전류에 대한 너깃직경을 나타낸 것이다. 동일 전류에서 50Hz의 너깃경이 크게 나타났으며 tear 파단 조건범위가 넓게 나타났다. Shear파단이 일어나는 전류도 50Hz가 100Hz에 비해 낮게 나타났다. 이는 50Hz가 100Hz에 비해 용접부에 가해지는 열량이 더 크기 때문으로 판단된다.  $I_{50\%}$ 와  $I_{100\%}$ 은 각각 50Hz와 100Hz 조건에서 적정 너깃직경이 6mm가 되는 곳에서의 용접전류를 나타낸다. A class를 만족하는 너깃경은 5mm이지만 너깃의 산포를 감안하여 6mm를 적정 너깃직경으로 정의하였다.

Fig. 3.8은 각 주파수별 너깃직경에 대한 표면의 아연도금 용융정도를 나타낸 것이다. 전체적으로 100Hz의 용융경이 50Hz에 비해 크게 나타났다. 이는 출력전류는 100Hz가 낮지만 출력전압이 높게 나타났기 때문에 100Hz일 때 50Hz에 비해 용접부에 높은 에너지가 주어졌기 때문으로 판단된다.

Fig. 3.9는 아연 표면 동합금 부착정도와 파단형상을 나타낸 것이다. 두 조건다 tear 파단 형상이 나타났으며 100Hz가 동일한 너깃직경에서 동합금 부착 정도가 크게 나타났다.

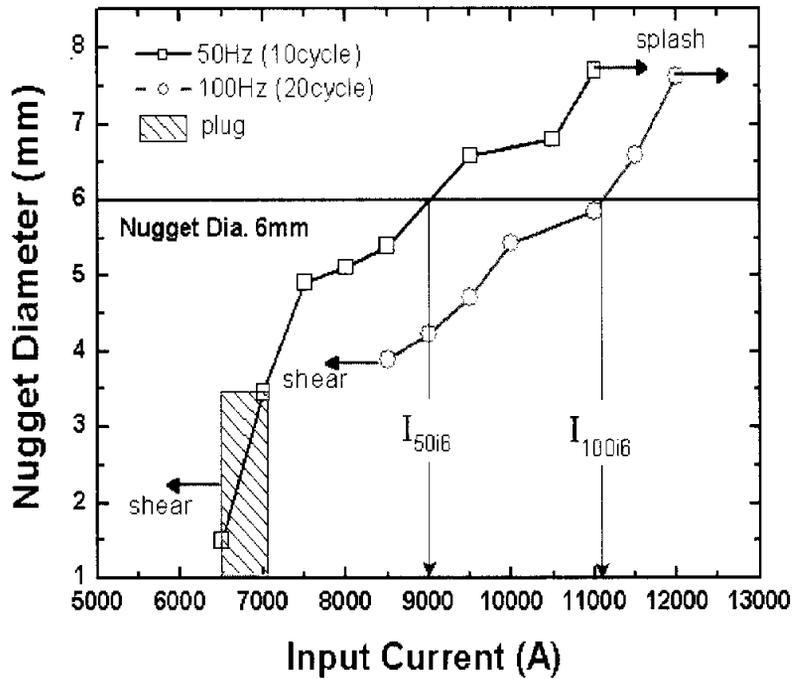


Fig. 3.7 Nugget diameter for Input current by Secondary frequency variableness (Force 200kgf, 1t)

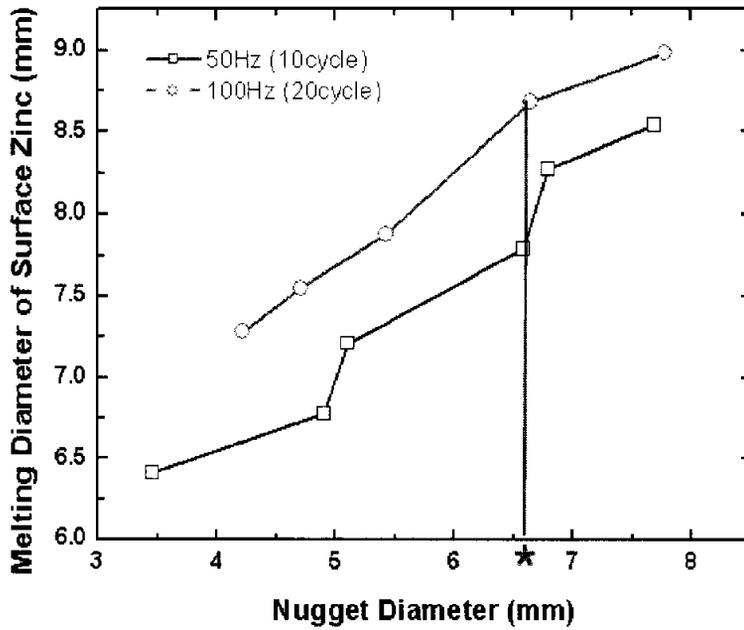


Fig. 3.8 Melting diameter of surface zinc for nugget diameter by Secondary frequency variableness (Force 200kgf, 1t)  
 ( \* :The same nugget diameter in 50Hz and 100Hz)

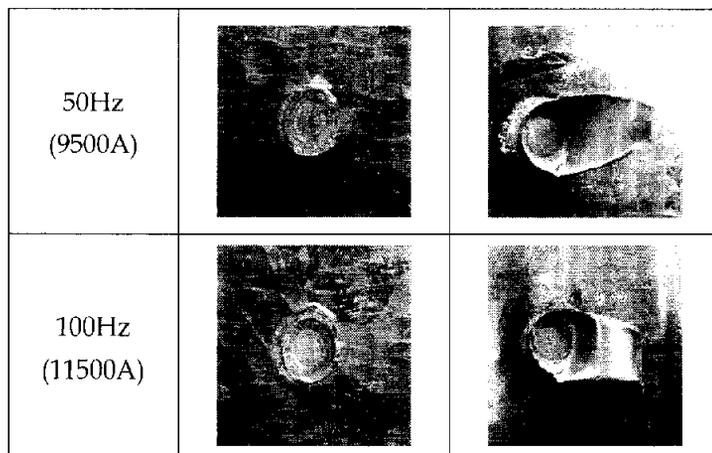


Fig. 3.9 Copper alloy sticking about zinc surface and fracture mode

### 3.3 결 언

아연도금강판에 대한 저항 용접 시 전극 오염을 줄이기 위해 2차측 주파수를 가변하여 실험한 결과 다음을 알 수 있었다.

- 1) 주파수별 너깃직경과 파단조건은 50Hz에서 tear파단 조건 범위가 넓고 동일 전류 조건에서 50Hz의 너깃직경이 크게 나타났다.
- 2) 동일 너깃직경에 대한 표면의 아연도금 용융경은 100Hz에서 크게 나타났다.
- 3) 동일한 너깃직경에 대한 용접부 표면의 동합금 부착정도를 비교해 보면 100Hz가 크게 나타남을 알 수 있었다.

## 제 4장 인버터 및 단상 AC 저항용접기에 의한 용접성 평가 실험

### 4.1 서 언

보통 저항용접에 주로 사용되는 단상 AC 저항 용접기의 전류는 피크치가 실효치의 약1.7배 정도가 되어 용접부의 온도 변화가 심하지만 인버터 AC 저항 용접기를 사용하면 전류의 피크치가 낮고 고속제어로 인해 짧은 통전시간을 가질 수 있으므로 전극의 손상을 줄일 수 있다고 판단된다.

따라서, 아연도금강판의 문제점을 보완할 수 있는 방법으로 인버터 AC 저항 용접기를 사용하면 아연도금강판의 전극의 오염(Pick up)손상을 줄이기 위한 방법을 얻을 수 있을 것이다.

인버터 및 단상 AC 저항 용접기에 의한 용접성을 평가하기 위해 동일 너깃 조건을 잡아 연속타점 후 전극 상태와 표면상태를 분석하였다.

### 4.2 실험 방법

Table 4.1은 실험 조건을 나타낸 것이다. 전극은 전극직경인 16mm인 DR전극을 사용하였다. 용접기는 단상 AC 저항 용접기(Single phase)와 인버터 AC 저항 용접기(Inveter AC)를 사용하였다.

Table 4.1 Welding condition

Electrode force (kgf)	Secondary Frequency (Hz)	Welding Time (Cycle)	Welding current (kA)
200	60	8	6.0kA ~ 13.0kA

## 4.3 실험 결과 및 고찰

### 4.3.1 용접기별 용접전류에 따른 너깃직경

Fig. 4.1은 각 용접기별 출력전류에 대한 너깃직경을 나타낸 것이다.

단상 AC 저항용접을 할 때 9500A에서 표면 날림이 발생하였다. 표면 날림은 전극을 오염시키는 원인이 되기 때문에 표면날림이 발생하지 않는 것이 좋다. 인버터가 단상에 비해 출력전류가 안정적이기 때문에 날림이 발생하지 않는 영역이 크게 나타남을 알았다. 따라서, 단상의 경우에 오염 정도가 더 크다는 것을 알았다. 또, 인버터가 단상에 비해 낮은 전류에서 Shear 파단이 나타났고 Splash가 날리지 않는 tear파단영역이 넓게 나타났다.

Fig. 4.2는 인버터와 단상 AC 용접에서 너깃직경에 대한 표면 아연 용융경을 나타낸 것이다. 단상이 동일한 너깃 직경에서 표면의 아연 용융경이 인버터에 비해 작게 나타났다. 단상이 인버터에 비해 용접부에 가해지는 총발열이 작을 수 있지만 전류의 순간 발열량이 높게 나타나 날림이 빨리 발생하며 전극이 쉽게 오염되어 인버터에 비해 용접성이 나빠졌다고 판단된다. 연속타점 실험을 위해 동일 너깃직경을 6.7mm(\*)로 정하였다. 6.4mm에서도 너깃직경이 동일해 보이지만 6.7mm에서 너깃직경이 더 일치하기 때문에 6.7mm로 정하여 연속용접을 하였다.

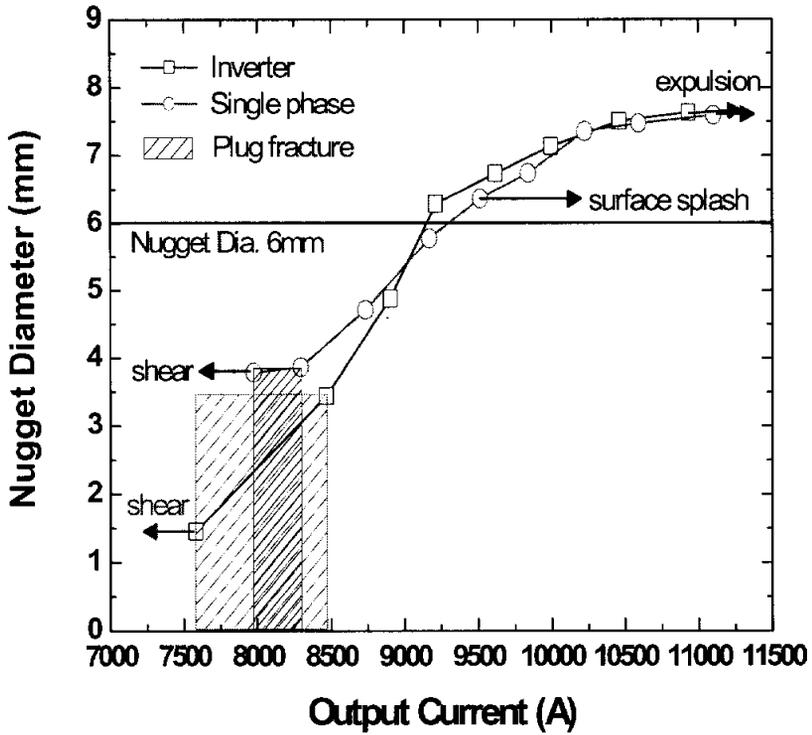


Fig. 4.1 Nugget diameter for output current of single-phase AC and Inverter AC resistance welding machine

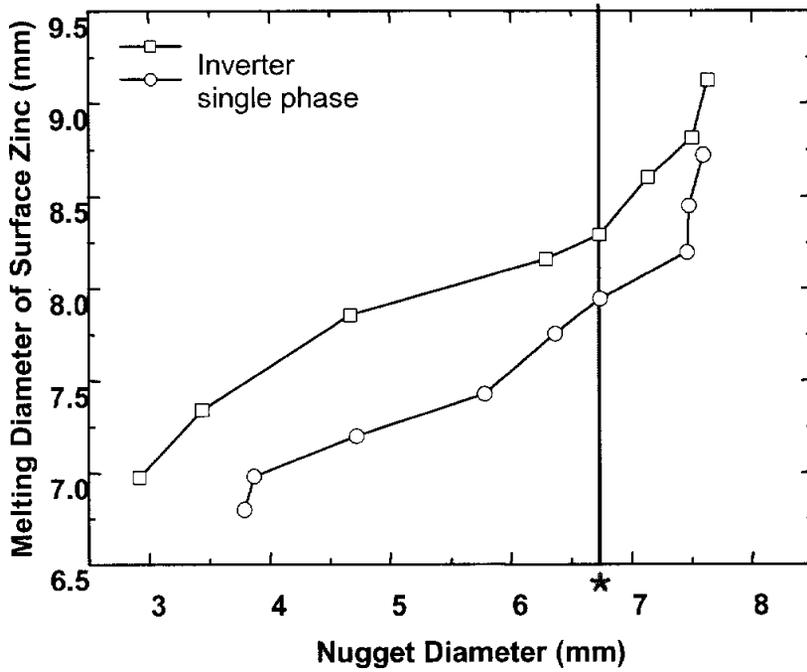


Fig. 4.2 Melting diameter of surface zinc for nugget diameter in inverter and single phase AC welding  
 ( \* :The same nugget diameter in single phase and Inverter)

### 4.3.2 용접기별 연속타점성 검토

앞서 실험한 동일 너깃직경에서의 단상과 인버터의 용접조건 데이터를 기준으로 용접기별 연속타점성 시 전극오염정도를 알아보는 실험을 하였다. 1타점 한 후 전극과 10타점한 전극을 용접기별로 획득하였다. 10타점한 전극은 타점간격을 일정하게 유지하고 타점 간 시간을 5초간 유지하여 실험을 하였다. 보통 연속타점 실험을 하면 보통 수천타점을 찍는 반면 10타점으로 연속용접성을 판단한 이유는 짧은 타점수이지만 용접현상을 명확하게 알 수 있었기 때문에 10타점으로 두고 실험을 하였다.

Fig. 4.3은 동일 너깃직경에서 1타점한 전극과 10타점한 상부 전극의 표면 사진이다. 1타점한 것을 비교해보면 단상의 경우 황동이 묻어 있는 것을 볼 수 있는 반면에 인버터는 전극 선단경에 약간 묻어 있었다. 10타점한경우도 단상이 심하게 오염되어 있음을 알 수 있었다.

Table 4.2는 용접기별 10타점한 용접부 표면 사진이다. 인버터가 단상에 비해 표면의 오염정도가 덜하다는 것을 알 수 있었다. 단상에서 표면 날림이 발생한 것이 나타나고 황동의 흔적도 많이 나타남을 알았다.

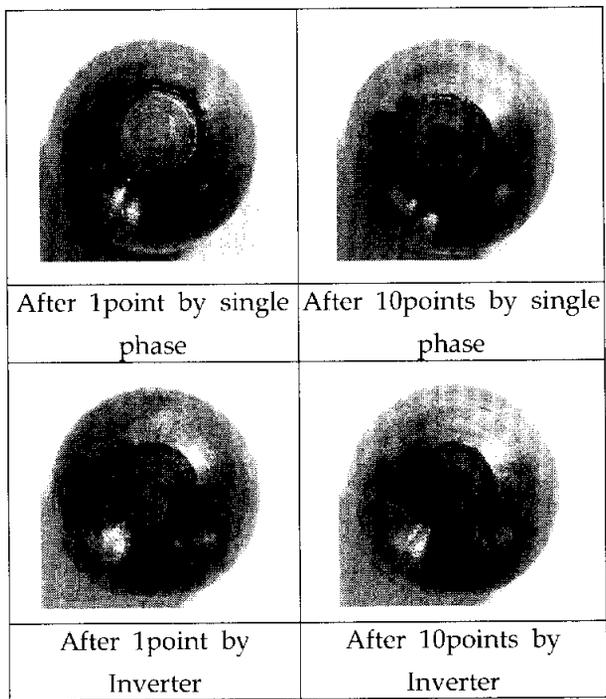
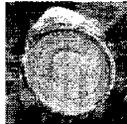
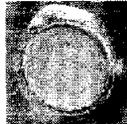


Fig. 4.3 upper electrode surface shape after continous point in same nugget size

Table 4.2 The weld zone surface shape by continuous point

point	single phase	Inverter
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

## 4.4 결 언

전국 오염에 대한 문제점을 해결하기 위해 단상 AC와 인버터 AC 저항 용접기를 이용해 연속타점 시 용접성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 단상의 출력전류 9500A에서부터 표면 날림이 발생하여 인버터에 비해 날림이 없는 영역이 좁게 나타났다.
- 2) 인버터가 단상 AC 용접기에 비해 너깃경에 대한 표면의 아연 용융경이 전체적으로 크게 나타났다.
- 3) 낮은 전류 영역에서 단상은 Shear과단 영역이 나타나는데 반해 인버터는 너깃이 생성함을 알 수 있었다.
- 4) 동일 너깃 직경에 대한 전극상태를 분석한 결과 단상이 인버터에 비해 표면 오염이 심각함을 알았다. 이는 단상 조건에서 표면 날림이 발생하였기 때문이다.
- 5) 동일 너깃직경에 대한 연속타점으로 10타점을 한 결과 인버터가 단상에 비해 오염 정도가 작으므로 연속타점 시 유리함을 알았다.

## 제 5 장 결 론

두께 1mm, 양면 도금량 275g/m<sup>2</sup>의 용융아연도금강판(GI : Galvanized Steel)을 이용하여 전극 손모에 대한 문제점을 해결하기 위해 인버터 AC 저항 용접기를 이용해 용접성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 2차측 주파수 50Hz와 100Hz에서 50Hz가 tear과단 조건 범위가 넓고 동일 전류 조건에서 너깃직경이 크게 나타났다. 또, 동일 너깃직경에서는 동합금 부착 정도도 작게 나타났다.

2) 인버터가 단상 AC 용접기에 비해 날림이 없는 영역이 크고 너깃경에 대한 표면의 아연 용융경이 전체적으로 크게 나타났다.

3) 단상과 인버터 AC 저항 용접에서 동일 너깃 직경에 대한 전극상태를 분석한 결과 인버터가 단상에 비해 오염 정도가 작고 연속타점 시 유리함을 알았다.

## 참 고 문 헌

- 1) 대한용접학회 : 용접 • 접합 편람, (1998), pp.576-583, pp.587-589
- 2) 日本學會抵抗溶接研究委員會編 : 抵抗溶接現象とその應用(I), 溶接學會術資料No.10(1989年11月), pp.80-90
- 3) AWS Resistance Welder Manufacturers Association : Resistance welding manual Fourth edition(1989. 10), pp. 4.1-4.10
- 4) 조상명 : 저항용접의 기초원리와 모니터링 결과의 분석, 대한용접학회지, 제15권, 제2호 (1997), pp.1-10
- 5) 박찬우 : 저항 점용접에서 동저항 및 전극변위를 이용한 용접 품질 평가, 부경대학교 대학원 석사학위 청구논문 (2002), pp.3-6
- 6) 김송미 : 정밀 저항시리즈 점용접에서 너깃의 대칭성에 미치는 공정변수의 영향, 부경대학교 대학원 석사학위 청구논문 (2001), pp.5-13
- 7) 방선희 : 냉간 압연 강판의 경도가 저항점 용접성에 미치는 영향, 부경대학교 대학원 석사학위 청구논문 (2000), pp.6-11
- 8) 탁정수 · 조호재 · 이영배 · 손준익 · 심재홍 · 조상명 : AC 인버터 저항 용접기의 전원특성과 저항용접특성에 관한 연구, 대한용접추계학회지,(2002)
- 9) Masahiro Ohara, Tohru Saito : Weldability of coated sheets, 日本溶接學會誌 63-4(1994) p277-281
- 10) Takashi Horita, Masaru Oka, Tatsuya Kanamaru, Kazumasa Yamazaki, Toshiro Fujiwara : Study on Nugget Formation in Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, 日本溶接學論文集 第4卷 第2号 (1996) p.255-259
- 11) KS D 3506 : 용융 아연 도금 강판 및 강대
- 12) 신현일, 강성수 : 2층 아연도금강판의 점용접성 연구
- 13) Masatsune Kondo, Tohru Saito : Recent Development of Coated-Steel Sheet and High-Strength Steel Sheet for Automobiles and Their Spot Welding, 日本溶接學會誌 55-2 (1986) p97-106

## 감사의 글

2001년 11월 전문가가 되겠다는 꿈을 안고 용접IT연구실에 첫 발을 내디딘 후 만 2년 동안은 제가 걸어온 길 중에서 가장 많은 발자취를 남긴 아주 소중한 시간이었습니다.

학문과 인생이라는 길의 길잡이로서 한결같은 지도를 아끼지 않으신 조상명 교수님께 먼저 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

학부 및 대학원 과정을 지도해주시고, 논문 완성까지 질책과 격려를 아끼지 않으셨던 김우열 교수님, 박홍일 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님께 진심으로 감사의 마음을 올립니다.

항상 부족했던 저를 위해 많은 도움을 아끼지 않으셨던 오동수 선배님, 서상균 선배님, 김선희 선배님, 조호재 선배님, 공현상 선배님, 임성룡 선배님, 최규원 선배님, 김송미 선배님, 박찬우 선배님, 김진우 선배님, 김기정 선배님, 탁정수 선배님, 박대규 선배님, 박금기 선배님, 김덕원 선배님께 감사드리며 하시는 일마다 건승하시길 기원합니다. 그리고 연구실로 컴백하신 감 병오 박사님, 주경야독 하시는 황동수님, 지정민님께 감사의 말을 전하고 싶습니다. 대학원생활에 있어서 값진 고마움을 주신 박덕조님, 조성우님, 유광선님, 조진안님, 허상준님, 김영주님, 김인태님, 박재선님께도 고마움을 전합니다. 또한, 연구실 살림꾼 김외숙님께도 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 학업을 같이 한 문창민님, 김현준님, 손대영님, 한태교님께도 고마움을 전합니다.

부족한 저의 옆에서 힘이 되어준 나의 친구 은경, 은정, 민수, 수형에게 감사의 말을 전하고 싶습니다.

끝으로, 지금까지 학업을 계속할 수 있게 뒤에서 묵묵히 지원해주신 부모님, 동생들 그리고 항상 저를 위해 기도해 주시는 할머니, 외할아버지, 외할머니께 고개 숙여 감사의 마음을 전하면서 이 논문을 마칩니다.