

## 인버터 제어방식을 이용한 Flash butt 용접기의 용접성능 향상

(Improvement of Welding Performance of Flash butt Welder by an Inverter Controlled Technology)

이왕하\* · 박상국 · 이성희

(Wang - Ha Lee · Sang - Gug Park · Sung - Hee Lee)

### 요 약

본 연구에서는 프래쉬버트 용접에서의 용접성을 향상시키기 위하여 인버터를 대용량 시스템에 적용하여 타당성을 검증하였다. 제안된 시스템은 풀브릿지 인버터방식을 채택하고, DSP제어기를 사용하였다. 인버터시스템으로 동작 주파수를 향상시키면서 기존의 위상 제어형 용접기의 용접성과 비교하여 스파터가 저감되는등 용접성이 개선되는 것을 여러 가지 금속학적인 방법들을 이용하여 확인하고, 인버터 시스템의 타당성을 검증하였다.

### Abstract

For the improvement of welding performance, high-efficiency inverter system was designed and applied that system to the conventional large scale Flashbutt welder. The inverter systems are consists of full bridge PWM power control system and DSP controller. This inverter system has increased switching frequency of power control system of Flashbutt welder. For the test of application effects, we compared an our inverter control system with a conventional thyristor control system. In the results, we confirmed that our system has decreased the welding spatter amounts and improved welding performance.

Key Words : Flash butt, welding, resistance, thyristor, IGBT

### 1. 서 론

산업구조의 고도화 추세에 따라, 각종 구조물, 부품의 경량화를 통하여 에너지 절감 및 구조물 및 설비의 장수명화를 위한 노력이 가일층 요구되고 있다. 특

히, 철도차량, 선박, 건축, LNG 탱크 건설 등을 포함한 구조체의 제작과 자동차 산업에서 경량화를 목표로 하는 고강도강재의 개발 및 적용 움직임은 용접-접합 process 측면에서 매우 중요하게 다루어야 할 부분이다.

현재 국내에 있어서 포항제철과 같은 철강사에서 제조되고 있는 강재의 강도는 열연강판 기준으로는 인장강도 80[kg/mm<sup>2</sup>], 냉연강판의 기준으로는 약 60[kg/mm<sup>2</sup>] 정도로서, 일본을 비롯한 선진국에서는 120[kg/mm<sup>2</sup>]급의 강재가 양산되어 이미 산업 전반에 사용되고 있다. 국내에서도 이러한 고장력강을 전량

\* 주저자 : 포항산업과학연구원 기전연구팀 연구원  
Tel : 054-279-6737, Fax : 054-279-6888

E-mail : wanqha@rist.re.kr  
접수일자 : 2002년 9월16일  
1차심사 : 2002년 9월18일  
2차심사 : 2002년10월30일  
심사완료 : 2002년12월13일

## 인버터 제어방식을 이용한 Flash butt 용접기의 용접성능 향상

수입에 의존하여 사용하고 있는 실정이다.

한편, 이러한 고장력강은 연구실적인 측면에서는 국내에서도 이미 개발이 완료되었지만 이들 강재를 양산하고자 할 때에는 연속생산라인을 거치지 않으면 안되기 때문에 반드시 flash butt 용접공정을 거쳐야만 된다. 현재 flash butt 용접은 상기 저급강에서는 생산에 전혀 문제가 없으나 강재의 고강도화와 더불어 강도향상을 위한 친산화성 원소 또는 고탄소화에 따라 용접시 용접부에 산화개재물이 존재하거나 용접부의 경도가 급격히 올라가는 현상을 일으켜 철강제조공정에서 많은 문제를 야기시키고 있다.

또한 자동차 분야에 있어서 자동차 바퀴의 림(rim) 용접에서도 flash butt 용접이 널리 이용되고 있는데 이 분야 역시 경량화에 따른 고강도 강재의 채택이 불가피하게 대두되고 있고 고장력강의 flash butt 용접이 중요한 이슈가 되고 있다. 그리고 고속철도의 레일용접에서도 flash butt 용접기술이 중요한 기반기술로 지적되고 있다. 한편 고장력강의 용접에 있어서는 건전한 용접부를 얻기 위해서 레이저와 같은 고밀도 열원이 이용되기도 하지만 이 방법으로 용접할 경우 용접에 걸리는 시간이 flash butt 용접에 비해서 3배이상의 시간이 걸리고 설비를 전량 외국에서 도입해야 하는데 도입비용이 flash butt에 비해서 매우 고가이다.

Flash butt 용접기는 와이어와 같은 소용량의 용접기에 있어서는 국산화가 되어 산업전반에서 널리 이용되고 있으나 철강 코일과 코일의 용접이나 자동차 휠림의 용접 등과 같이 단면적이 매우 큰 용접기는 전량 선진국에서 설비를 고가(철강라인의 경우 1대당 약 80억원)로 도입하고 있는 실정이고 선진국에서도 몇 개의 회사에서만 용접기를 제작할 수 있는 고급제어기술이 요구되고 있다.

Flash butt 용접기술은 용접을 진행하면서 소재의 가열 및 용융속도와 용융된 금속물질을 적절한 속도로 외부로 배출하여 소재의 접촉면을 항상 청정하게 하여 고온의 조건으로 유지한 채 용접을 종료해야 하는 매우 고난도의 기술을 요구한다[1]. 특히 용접부가 산화되지 않도록 하면서 소재의 가열을 충분히 가하기 위해서 용접공정상에서 몇 개의 단계로 나누어 적절한 입열제어가 행해져야 한다. 이를 위해서

pre-flashing, flashing, upsetting과 같은 크게 3단계의 공정으로 이들을 제어하는데, 세부적으로는 이러한 공정들을 소재의 종류와 두께 및 단면적에 따라 적절한 함수제어가 실시되어야 좋은 용접품질을 획득할 수 있다[1]. 이때 균일한 가열을 위해서는 전류의 시간적 편차가 큰 thyristor에 의한 제어는 큰 flash를 유발할 수 있어서 고장력강과 같은 경우에서 산화물의 발생을 유발시킬 수 있기 때문에 주의하지 않으면 안된다. 따라서 flashing과 upset의 균일성을 획득하기 위해서는 용접전류의 편차가 크지 않도록 하는 기술과 최적의 전류를 공급하는 기술, 그리고 용융량과 배출량의 함수적 제어가 중요한데 이를 위해서 인버터 방식의 전류제어기술에 관하여 일부 기술하였다 [2][3]. 인버터 방식의 전원개발은 변압기나 리액터를 작게할 수 있으므로 경제적이며, 설치면적 면에서도 효과적인 방법인데, 본 연구에서는 인버터 방식의 우수함을 용접을 통하여 확인결과를 보고한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 Flash butt 용접

Flash butt 용접기술은[4] 용접을 진행하면서 소재를 가열함과 동시에 용융속도를 적절히 제어하여 일정한 속도로 용융된 금속물질을 외부로 배출시키는 제어기술이 요구된다. 그리고 소재의 접촉면을 항상 청정하게 하여 고온의 조건으로 유지한 상태에서 용접 작업을 종료해야 하는 매우 고난도의 기술을 요구한다.

Flash butt 용접공정 제어는 그림 1과 같이 크게 pre-flashing, flashing, upsetting의 3단계 공정으로 진행된다. 용접 품질을 향상시키기 위해서는 이러한 공정들을 소재의 종류와 두께 및 단면적에 따라 세부적으로 적절한 함수제어가 이루어지도록 해야 한다[5].

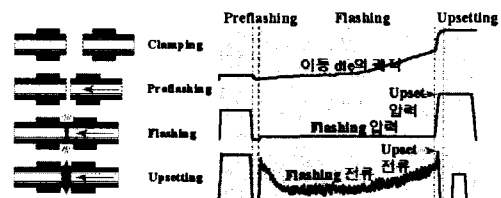


그림 1. Flash butt 용접 공정  
Fig. 1. Flash butt welding process

### 2.2 PWM 인버터

다이오드 정류기를 거친 전압은 PWM 제어회로를 통해 인버터 입력으로 전달되고, 인버터 출력은 정전압 변압기 및 2차측 정류부와 직류 리액터를 거쳐 용접단에 최종 출력된다. 그림 2는 아아크 전압부를 포함한 인버터 아크 용접기의 등가회로로서 인버터 출력단만을 나타냈다.

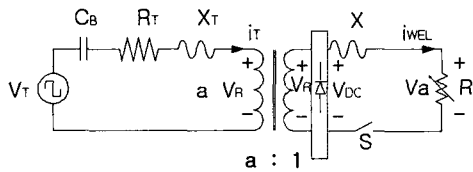


그림 2. 인버터 용접기의 등가회로  
Fig. 2. Equivalent circuit of an inverter welder

인버터의 경우 직류 링크전압 ( $V_C$ )이 인버터의 스위칭함수  $S_{INV}(t)$ 에 의해 변압기 1차전압  $v_T(t)$ 로 변환되고, 변압기의 2차 전압  $v_R(t)$ 은 정류회로 및 리액터를 거쳐 용접기 출력전압  $v_a(t)$ 로 바뀌어 용접단에 인가된다. 교류인 경우에는 정류회로를 거치지 않는다. 이상의 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다[4].

$$v_T(t) = -\frac{1}{C_B} \int i_T dt + R_T i_T(t) + L_T \frac{di_T(t)}{dt} + a v_R(t) \quad (1)$$

$$v_{DC}(t) = R_{DC} i_{WEL}(t) + L_{DC} \frac{di_{WEL}(t)}{dt} + v_a(t) \quad (2)$$

$R_T$ 는 변압기 권선저항,  $L_T$ 는 변압기 인덕턴스,  $C_B$ 는 블록킹 캐패시턴스,  $v_{DC}(t)$ 는 정류회로 출력전압을 나타내고, SW는 용접기의 아아크와 단락을 모사할 때 이용되는 가상의 스위치로써, 용접 현상을 모델링할 때 단락과 아아크 상태를 표시하기  
조명 · 전기설비학외논문지 제17권 제1호, 2003년 1월

위한 스위치로 SW가 닫힌 상태는 단락이고, 열린 상태는 아아크 상태를 나타낸다.

변압기 1차전압은  $v_T(t) = V_C S_{INV}(t)$ , 정류회로의 출력전압은

$$v_{DC}(t) = S_{REC}(t) v_R(t) \text{이다.}$$

여기서 스위칭함수를 상세기술하면 하기와 같다.

$S_{REC}(t)$ 와  $S_{INV}(t)$ 는 단상 브리지형의 정류기와 인버터를 사용하여 같은 형태로

$$S(\theta) = g_1 - g_4 \quad (3)$$

$$= 1 \quad \text{for } 0 \leq \theta \leq \pi$$

$$= -1 \quad \text{for } \pi \leq \theta \leq 2\pi$$

( $f_0$ 는 기본 주파수이며,  $\theta = \omega t = 2\pi f_0 t$ )  
 $S(\theta)$ 를 fourier 급수를 전개하면

$$S(\theta) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1,2,..}^{\infty} (A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta) \quad (4)$$

$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} S(\theta) \sin n\theta d\theta = \frac{4}{n\pi} \quad \text{for } n=1, 3,$$

반파대칭이므로,  $A_0 = A_n = 0$ 이다.

따라서

$$S(\theta) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,..}^{\infty} \frac{\sin n\theta}{n} \quad (5)$$

$S_{rec}(\omega t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,5,..}^{\infty} \frac{\sin n\omega t}{n}$ 로 표현할 수 있다  
단상 브리지 정류기의 스위칭함수는 전파브리지 인버터와 일반적으로 같다.

### 3. 인버터 Flashbutt 용접 시스템 설계

#### 3.1 정류부

정류부는 인버터의 입력 전압을 일정하게 해주고, 안정된 직류 전원을 공급해주는 역할을 한다. 본 연구에서는 정류부를 고압용 diode stack으로 구성했다. 고압 diode의 선정은 이상 과다 전압에 의해서 보호될 수 있도록 고려되었고, 과부하 조건 250%/30초에서도 충분한 내량을 갖도록 선정한다. 또한 정류부 구성방식은 전파 브리지 다이오드 정류 회로로 구성했다.

#### 3.2 인버터 제어기

다이오드 정류기를 거친 전압은 PWM 제어회로를 거쳐 인버터의 입력으로 전달되고, 인버터의 출력은 변압기 및 2차측 리액터를 거쳐 Flashbutt 용접기의 양 전극단에 가해진다.

PWM 인버터제어는 그림 3과 같이 피드백제어를 하게된다. 즉 인버터로부터 용접부로 출력되는 평균치 전류(I<sub>meas</sub>)는 궤환되어 저역여파기를 거치게 되고, 저역여파기의 출력전류는 기준전류(I<sub>ref</sub>)와 비교되어 PI제어를 거쳐서 다시 PWM 제어회로로 입력된다. 그림 3에서 KI는 PI제어에서 전류이득을 나타낸다.

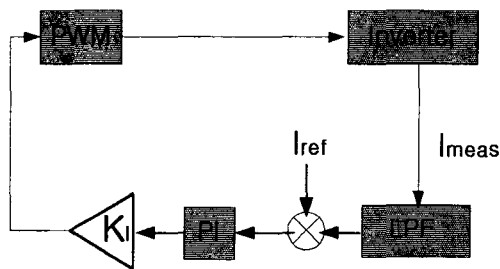


그림 3. 인버터제어 블록선도  
Fig. 3. Block diagram of an inverter control

용접전압과 전류의 관계는 대단히 비선형적인 특성을 가지는데, 단락·아아크 어떤 상태에 있어서도 가열은 전류에 의해 이루어진다.

여기서 단시간에 접촉이 일어나 흐르게되는 단락

전류 및 단락이 떨어져 아아크가 발생한 때의 아아크 전류는 다음과 같은 식에 의해서 계산될 수 있다[4].

#### (1) 단락시의 전류

단락시는 그림 2에 나타낸 회로에서 스위치를 닫은 것에 상당하고, 이때 흐르는 전류는 식 (6)으로 주어진다.

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha - \phi) - I_m \sin(\alpha - \phi) \cdot \epsilon^{-t/T} \quad (6)$$

여기서 변압기 2차 전압은

$v_R = V_{Rm} \sin(\omega t + \alpha)$ 로 되고, t=0의 순간에 단락이 일어난 것으로 하고,  $\alpha$ 는 그 때의 전압의 위상각,  $\phi$ 는 역률각을 나타낸다. 또한 I<sub>m</sub>은 단락전류의 파고치, T는 회로의 시정수(sec)이고, T=L/R로 주어진다.

#### (2) 단락이 떨어져 아아크가 발생한 때의 전류

이 경우는 그림 2에 나타낸 회로에서 스위치 S를 open한 것에 상당한다. 이 스위치 S의 양단에 발생하는 아아크전압을  $v_a$ 라 하면 전원 전압과의 관계는 식 (7)로 주어진다.

$$v_R = L \frac{di}{dt} + Ri + v_a \quad (7)$$

식 (4)에서  $v_a$ 를 전류에 관계없이 일정한  $V_a$ 라 가정하면, 전류는 식 (8)로 주어진다.

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha' - \phi) - V_a/R(1 - \epsilon^{-t/T}) \quad (8)$$

단, 아아크는 t=0인 순간에 발생하고,  $\alpha'$ 는 그 때의 전원전압의 위상각으로서  $\alpha' > \phi$ 라 가정하고, 더

속이  $t=0$ 의 전류는 정방향으로 흐른다고 가정하고 있다. 또한 윗식은  $i=0$ 인 지점에서 아아크는 소실하고 이후는 성립하지 않는다.

### 3.3 Flashbutt 용접시스템 설계

기존의 Flashbutt 용접기에 본 연구에서 설계한 인버터 제어기를 적용하였고 이를 그림 4과 같이 구성했다.

기존의 용접 시스템에 인버터 제어시스템을 추가하였으며, 새롭게 추가된 시스템을 회색 블록 다이어그램으로 나타냈다.

용접기 제어를 위한 메인 제어기로는 DSP-Chip인 TMS320을 사용했다. 이는 그림 2와 같은 피드백 제어를 하도록 설계했고, 실제 용접전류를 픽업하여 저역필터를 통과시키고, 설정치의 값을 추종하도록 설계했다. 또한 Gate Driver는 인버터의 Power소자를 구동시키는 역할을 한다. 그리고 다이오드 정류부를 채용하여 정전류 제어가 되게했다[2]. 한편, 정전류 제어용 PI전류제어기는  $k$  스텝의 제어신호에 설정전류신호와 용접전류신호의 차를 비례상수를 곱한 후  $k$  스텝의 제어신호에 더하는 것으로서, 이러한 제어기능은 CPU내부에서 디지털 제어에 의해서 수행토록 하였다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$u_{k+1} = u_k + K_p (V_{ref} - V_{feedback}) \quad (9)$$

여기서,  $u_{k+1}$  는  $k+1$ 스텝에서의 제어출력,  $u_k$  는  $k$ 스텝에서의 제어출력,  $V_{ref}$  는 설정전류신호,  $V_{feedback}$  는 용접전류신호를 나타내었다.

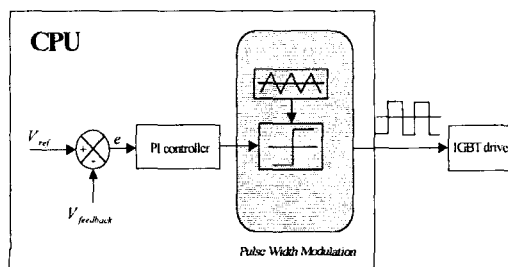


그림 4. (a) 정전류제어를 위한 PI제어기와 출력블럭도

이러한 PI제어기는 그림 4 (a)과 같은 제어 블럭도에 따라 처리된다.

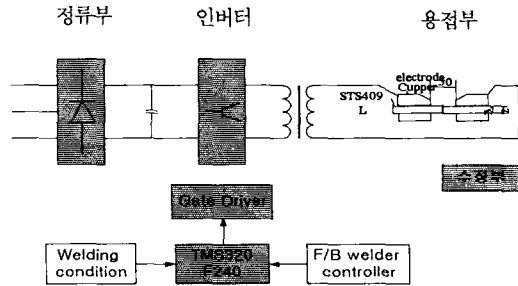


그림 4. (b) 제안된 전체 시스템도  
Fig. 4. The proposed system schematic

본 연구에서는 기존의 상용 주파수용 main 변압기를 활용할 수 있도록 하기 위해 인버터 제어기의 주파수를 60-240[Hz]로 제한하여 적용했다. 그리고 PWM 제어방식은 인버터 주파수가 매우 낮은 관계로 캐리어 주파수를 사용하지 않고 단펄스를 사용하여 측정했다.

그림 4의 제어 시스템을 적용하여 실제로 국산화 개발에 성공한 Flashbutt 용접기의 사진을 사진 1에 나타내었다. 그리고 개발된 인버터 제어방식 용접기의 사양을 기존의 위상제어기와 비교해서 표 1에 나타내었다.

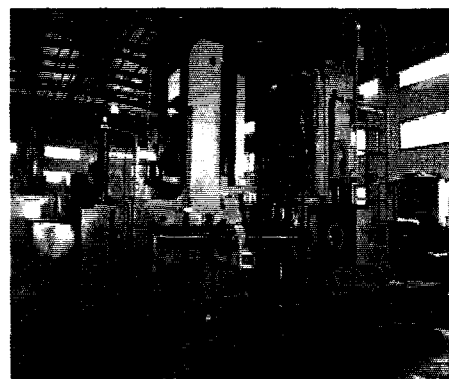


Photo. Flash butt 용접 simulator  
Flash butt Welding Simulator

인버터 제어방식을 이용한 Flash butt 용접기의 용접성능 향상

표 1. 개발된 용접기의 사양  
Table 1. Specification of a developed welder

항 목		기존 위상제어방식	개발된 인버터 용접제어방식
제어 방식	제어주체	Analogue 제어	DSP TMS320F240
	제어방법	"	digital 제어
	제어목적	출력전압 open loop	용접전류 정전류제어
	제어방식	위상제어	PWM에 의한 인버터 제어
제 어 기		없 음	PI 제어기
스위칭 소자		SCR	eupec사의 1200V, 1200A급 IGBT 모듈
GATE 드라이브		없 음	Isolation amp를 이 용한 전용 드라이브 모듈
스위칭 주파수		60 Hz	60 ~ 240 Hz
입 력	전압	260 ~ 440 V	260 ~ 440 V
	주파수	60 Hz	60 Hz
	상수	단 상	단 상
기 타	과전류 처리	없 음	제어처리
	제어기 변경	H/W 전량 교체	S/W 변경에 의한 비 용 절감
	외부 인터페이스	부가적인 H/W 시설	S/W 처리

4. 측정 및 실험

본 연구에서는 기존의 위상제어방식을 사용하는 용접기와 인버터 제어방식을 적용한 용접기의 용접 상태를 상호 비교 실험했다.

실험에 사용한 용접기는 기존에 RIST에서 보유하고 있는 Flashbutt 용접기를 사용했다. 용접기에서 기존의 기계적인 부분은 그대로 이용하고, 전원부는 본 연구에서 설계한 인버터 제어기로 대체 시켰다. 그리고 상용 주파수용 변압기를 그대로 이용하기 위해 인버터 제어기의 주파수를 최대한 사용 가능한 높은 주파수영역으로 설정했다.

실험은 제어기의 주파수를 240[Hz]까지 가변 시키면서 용접을 한 후 각각에 대해 실제 용접부의 상태 및 금속학적인 조사를 통해 상호 비교 검토했다. 그리고 용접부 특성비교를 위해 일정전류에서 고장력 강

판만을 사용하여 실험하였다.

그림 5, 그림 6, 그림 7 그리고 그림 8은 제어기의 주파수가 각각 60[Hz], 120[Hz], 180[Hz], 그리고 240[Hz]일 때 설정전압의 증가에 따른 용접전류, 전압 및 펄스폭과의 관계를 그래프로 도시한 것으로 이들 사이에 선형성이 유지됨을 확인할 수 있다.

그림 9와 그림 10은 설정전압이 각각 0.5[V], 1.0[V] 일때 주파수의 증가에 따른 용접전류, 용접전압 및 스위칭 듀티의 거동을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 주파수가 증가함에 따라 용접 최고전류와 전압 최고치는 감소하고, 듀티는 증가됨을 알 수 있다.

또한 주파수가 240[Hz] 이상이 되면 통전 가능한 듀티에서의 용접전류가 급격히 적어질 것으로 예상되기 때문에 이러한 경우에는 Flashbuter 용접기의 용접조건을 잘 설정할 필요가 있다고 판단된다.

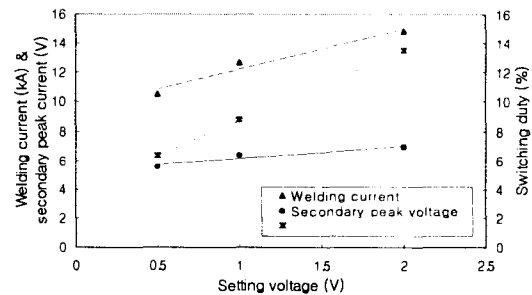


그림 5. 용접특성 실험결과(주파수 = 60Hz 인 경우)  
Fig. 5. Experimental result for the welding characteristic test (f = 60Hz)

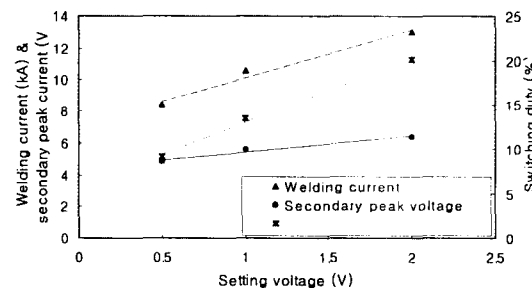


그림 6. 용접특성 실험결과(주파수 = 120Hz 인 경우)  
Fig. 6. Experimental result for the welding characteristic test (f = 120Hz)

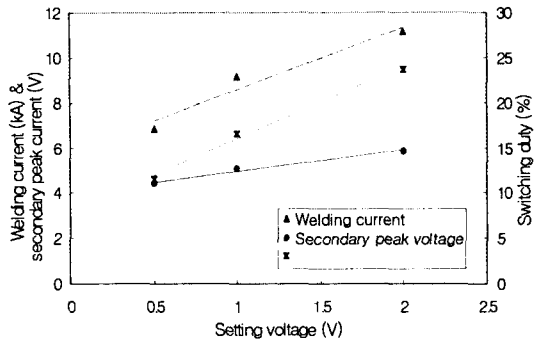


그림 7. 용접특성 실험결과(주파수 = 180Hz 인 경우)  
Fig. 7. Experimental result for the welding characteristic test (f = 180Hz)

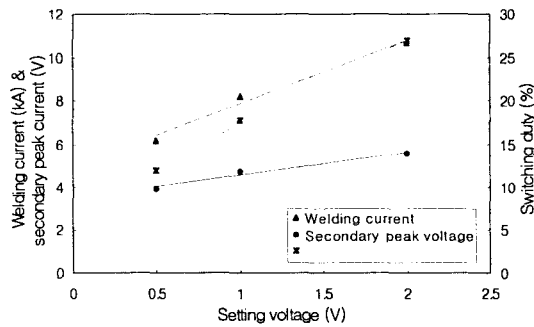


그림 8. 용접특성 실험결과(주파수 = 240Hz 인 경우)  
Fig. 8. Experimental result for the welding characteristic test (f = 240Hz)

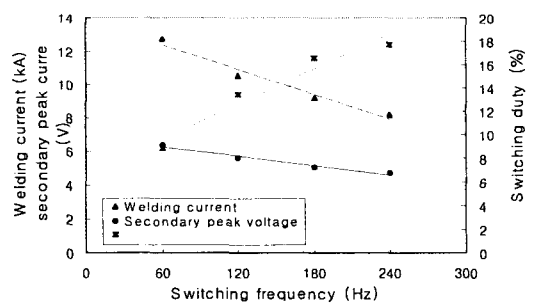


그림 9. 용접특성 실험결과(설정전압 = 0.5V 인 경우)  
Fig. 9. Experimental result for the welding characteristic test (Setting voltage = 0.5V)

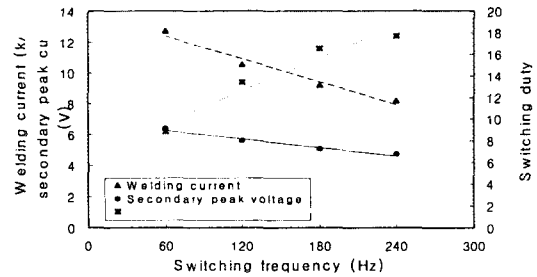


그림 10. 용접특성 실험결과(설정전압=1.0V 인 경우)  
Fig. 10. Experimental result for the welding characteristic test (Setting voltage=1.0V)

그림 11은 주파수에 따른 용접부 표면형상에 대한 그림을 나타낸 것이다.

실험에 사용한 강판은 60[kg/mm<sup>2</sup>]급 고장력강이다. 그림에서 보는바와 같이 주파수가 증가함에 따라서 외형적인 용접 형상이 균일해짐을 확인할 수 있다.

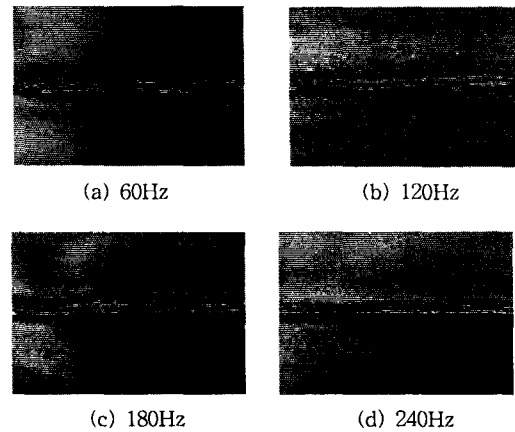


그림 11. 주파수에 따른 용접부 표면형상 사진  
Fig. 11. Photo of welding surface via frequency variation

그림 12와 그림 13은 위상제어방식을 사용한 것과 인버터 제어방식을 사용한 용접부의 단면사진을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 인버터제어에 의한 용접부 단면사진은 용접부 중심에 분명한 백색 탈탄층이 나타나지만 위상제어에 의한 용접은 탈탄층이 분명치 않게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 이들 용접부에 대해서 180°굴곡시험을 실시한 결과 용접부에서 파단이 발생하였던 시험편의 파단

인버터 제어방식을 이용한 Flash butt 용접기의 용접성능 향상

면 사진을 그림 14과 그림 15에 각각 나타내었다.

그림에서 보는 것과 같이 위상제어에 의한 용접부 파단부는 곳곳에서 패여있는 자국이 존재함을 알 수 있다. 이것은 용접과정에서 큰 플래쉬가 발생하여 접합부에 커다란 크레이터가 발생하였던 흔적이고, 이러한 부분이 용접라인을 따라서 곳곳에 존재하므로 용접불량을 초래하는 것이다.

반면에 인버터제어에 의한 용접부 파단사진에 따르면 패인 흔적이 극히 일부분에 존재하고, 또한 용접라인을 따라서 이러한 거동은 거의 발견되지 않았다. 이때 용접과정에서 크레이터가 발생되면 이들 부분에서 용융된 금속 필름이 산소와 결합하여 산화물이 개재하게 되어 잘 배출되지 않게 되어 결국 용접부의 결함으로 남게 되는 것이다. 이들 산화물의 흔적을 조사한 사진을 그림 16에 나타내었다.

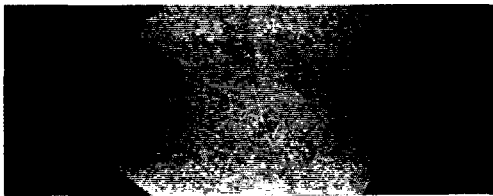


그림 12. 위상 제어에 의한 용접부 단면사진  
Fig. 12. Picture of Welding cross Section by Thyristor Control

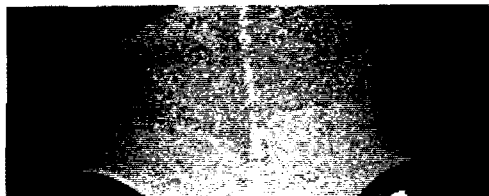


그림 13. 인버터 제어에 의한 용접부 단면사진  
Fig. 13. Picture of Welding cross section by Inverter Control

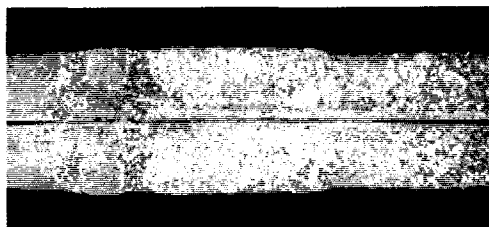


그림 14. 위상 제어에 의한 용접부 파단면사진  
Fig. 14. Welding Fracture by Thyristor Control

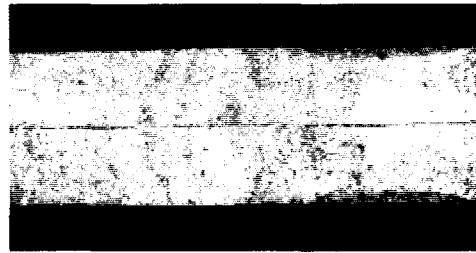


그림 15. 인버터 제어에 의한 용접부 파단면사진  
Fig. 15. Welding Fracture by Inverter control



그림 16. 위상제어에 의한 용접부 산화개재물 사진  
Fig. 16. Oxidized Inclusion by Thyristor Control

그림 16에 나타난 사진이 산화 개재물인지를 조사하기 위해서 전자현미경을 사용하여 정밀 조사하였고, EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)분석을 통하여 흑색부분의 성분을 조사하였다.

그림 17은 산화개재물에 대한 SEM사진을, 그림 18은 산화개재물에 대한 EPMA 결과사진을 나타낸 것이다.

그림 18에 따르면 EPMA사진의 열은 부분에 분명히 산소성분이 높게 나타나서 산화 개재물임을 확인할 수 있었다.

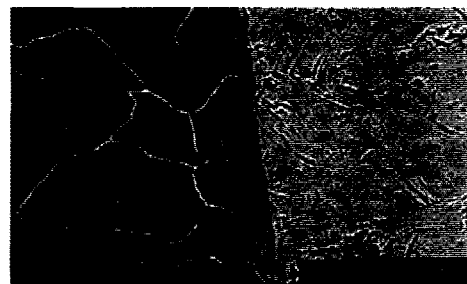


그림 17. 산화개재물에 대한 SEM사진  
Fig. 17. SEM for Oxidized Inclusion



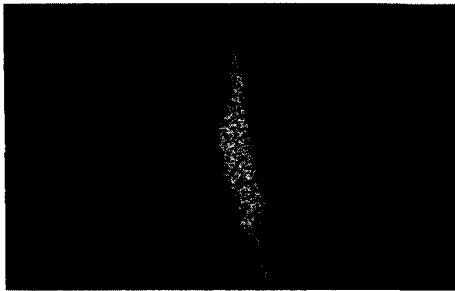


그림 18. 산화개재물에 대한 EPMA 결과  
(산소성분)  
Fig. 18. EPMA Results for Oxidized  
inclusion

## 5. 결 론

본 연구에서는 제철소 공정라인에 사용되는 대용량의 Flashbutt 용접기의 제어 성능을 개선하기 위해 기존에 사용되고 있던 위상제어방식 대신에 다이오드 정류기와 IGBT를 이용한 대용량 PWM 인버터 제어기를 flashbutt 용접 시스템에 적용했다. 제안된 시스템에 대하여 TMS320-F240을 이용하여 메인 제어기의 시스템을 설계하였다.

실험은 인버터에 의한 정전류 제어의 효과를 기존의 위상제어방식과 비교 검토하였다. 실험결과 본 연구에서 적용한 인버터 제어방식으로 다음과 특성을 얻을 수 있었다.

- (1) 위상제어방식에 비해 용접부 형상이 균일
- (2) 용접부의 인장강도 향상
- (3) 개발된 시스템은 저항 용접에서 사용되는 전류의 범위를 훨씬 초과
- (4) 전력제어 주파수를 가변하여도 기존의 용접용 변압기에도 적용가능

본 연구의 개발 기간중 DSP 제어기를 채택함으로써, 모든 용접현상의 제어를 디지털 처리화하는, 시스템 프로그램 개발하는 기간이 길어져, 계획된 결과 이상의 많은 결과를 얻지는 못하였지만, 300[kVA]상황의 초대전력 인버터 용접전원시스템의 국산화에 성공했다.

PWM 주파수가 매우낮고, 단펄스 방식으로 인해

Flashing의 불규칙이 발생하고, 이로 인해 산화가 발생하는 단점이 있었다. 향후 이런 문제점을 개선하기 위해 좀더 다양한 PWM 방법을 적용하고, 다른 제어 개념의 도입 및 다이오드 정류방식 이외에 PWM 컨버터를 적용하여 정전력 제어를 적용하는 등 계속적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

## References

- [1] 용접학회 경량구조조합가공연구위원회편, "저항용접 현상과 그응용 (IV)", 1993년.
- [2] 강문신,이왕하, "인버터 제어방식의 고장력강 Flashbutt 용접기술 개발", 산업자원부, 2000.
- [3] 이왕하, 강문신, 이성희 "인버터 제어방식의 프래쉬버트 용접기술개발", 2001, 대한전기학회 하계학술대회.
- [4] 최규하, "입력전류 제어형 고효율 인버터이크 용접 시스템의 입력 및 출력 특성연구", 전력전자학회논문지, 제 5권,제 4호,pp 358, 8월, 2000년.
- [5] 安藤 仲村, 福井 "鋼의 フラッシュ 溶接現象の研究(第 1 報)", 溶學誌 Vol.39,1970 No 10 p86~100.

## ◇ 저자소개 ◇

### 이 왕 하 (李汪夏)

1964년 3월 24일생. 1987년 경북대 전자공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1991년~현재 동 포항산업과학연구원 선임연구원.

### 박 상 국 (朴祥國)

1964년 7월 12일생. 1986년 경북대 전자공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2000년 8월 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1994년~2001년2월 포항산업과학연구원 선임연구원. 2001년 3월~현재 위덕대학교 컴퓨터공학과 조교수.

### 이 성 희 (李成熙)

1967년 9월 9일생. 1993년 경북대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1994년~현재 동 포항산업과학연구원 선임연구원. 2002년 8월 동 대학원 전자공학과 졸업.