

발전소용 인버터에 의한 절전형 아크용접기에 관한 연구

(A Study On Inverter Arc Welder for Energy Saving in Power Station)

尹炳道* · 鄭在倫** · 金燦起*** · 李炳松***

(Byung-Do Yoon · Jae-Youn Chung · Chan-Ki Kim and Byung-Song Lee)

요 약

본 논문에서는 절전형 인버터 아크용접기의 용접특성에 대하여 연구한다. 특히, 펄스아크와 고주파아크의 중첩이 연구되었다. 시뮬레이션과 실험결과에 따라 고주파 중첩아크가 에너지절감과 용접특성의 관점에서 다른 용접법에 비해서 우수함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the welding characteristics of inverter arc welder for energy saving is presented. DC arc, pulsed arc and high-frequency arc are compared on the basis of welding characteristics and energy saving.

Especially, Superposition of pulsed arc and high-frequency arc is researched.

According to the simulation and experimental result, Superposition method is superior to others in the aspect of energy saving and welding characteristics without defect.

1. 서 론

용접기술은 우리나라의 산업발전과 함께 발달되어 왔으며, 조선, 항공, 원자력 관련분야에서 고품질, 고효율, 고신뢰성등을 요구하는 분야에서 앞으로 용접기술의 이용은 현저할 것이다. 용

접기술은 과거에는 기계, 조선등 중공업분야에서 대량생산을 목적으로 발전되어 왔지만, 최근에는 로버트의 응용기술이 발달하면서 각종 산업분야에서 확대되고, 작업환경이 열악하고 반복적인 작업에 로버트에 탑재된 용접기의 적용이 가속화되고 있다. 앞으로는 반도체공정, 전자정보산업, 항공기, 우주개발, 원자력관련분야에서 메카트로닉스정밀부품, 고급재료를 대상으로 한 용접특성의 질적인 발전이 요망되고 있다. 따라서, 작업능률의 향상과 작업의 용이성과, 소형화, 그리고 에너지절감에 대한 필요성이 요구되고 있다.

아크용접기는 용접봉을 모재사이의 용접점

* 正會員: 중앙대 공대 전기공학과 교수 · 工博

** 正會員: 유한공업전문대 전자과 교수 · 工博

*** 正會員: 중앙대 공대 전기공학과 박사 과정

接受日: 1994年 2月 16日

(Welding Point)에 접촉해서 용접봉을 용융하여 용접봉이 없어지는 소모식 아크용접기(차폐 가스에 따라, 탄산가스를 사용하는 CO₂용접법과 아르곤가스의 불활성가스를 사용하는 MIG용접법, 아르곤가스와 탄산가스등 혼합가스를 사용하는 MAG용접법이 있다.)와 용접봉을 용접점(Welding Point)에 접촉시켜 모재를 녹이는 비소모식 아크용접기(인버터 펄스용접기)로 나눌 수 있다. 전극 와이어가 녹아 없어지지 않는 비소모식 인버터 펄스용접법은 비철 금속을 중심으로 한 정밀용접분야에 많이 사용되어지는 용접법으로서 용접가스를 불활성가스로 쓰고 텅스텐을 용접전극으로 이용하고 있으며, 지중선로의 용접, 고정밀 베카트로닉스의 용접, 원자력 발전소의 원자로 관련 管路 및 부품 용접, 항공기용접에 주로 이용되고 있다. 소모식 아아크 용접기는 선박, 기계용접등 대량용접이 필요한 곳에 이용되고 있으며, 비소모식 용접기와는 용접기설계와 사용에 차이가 있다.

한편, 용접기의 전원은 1970년 정도까지는 누설 변압기를 이용한 아크용접기가 주류를 이루었으나 근래에 이르러 아크용접기는 다이리스터를 이용해서 변압기의 2차측을 위상제어한 아크용접기가 누설변압기에 비해 소형화 및 신뢰성이 더욱 향상되었다.²⁾

1980년대에 들어서서, 자기소호소자인 파워 트랜지스터로 변압기의 2차측 전압을 직류로 변환한 후 초과 제어하는 방식이 개발되었고, 현재는 용접기를 더 소형화하고 고정밀 제어를 하기 위해서, 변압기 1차측에서 파워 트랜지스터에 의해서 고주파교류(2kHz정도)로 변환하고 출력단을 PWM 제어하는 인버터제어식의 용접기가 개발되고 있다.²⁾

인버터제어식 아크용접전원은 3상 교류입력을 다이오드를 통해서 DC로 변환한 후 인버터를 이용해서 고주파 교류로 변환하기 위하여, 고주파 변압기에 의해 절연과 전압변환을 행하고, 다시 다이오드를 통해서 DC로 출력한다. 아크용접용 전원장치는 아크를 발생시켜야하기 때문에 일반적으로 저전압, 대전류출력의 전원을 채용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 용접기의 출

력 전압, 출력전류가 아크 특성에 어떤 영향을 미치는가를 고려하고, 에너지 절감효과를 고찰하였다.

또한, 용접기의 특성과 에너지 절감효과를 분석하기 위해서는 용접기의 모델링이 필요하다. 그러나 용접기를 정확하게 모델링한 연구는 지금까지 보고된 적이 없고, 용접기의 아크상태를 정확하게 모델링하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 본 논문에서 연구 대상으로한 용접기는 발전소에서 원자로의 관로나 폐기물용기 또는 지중선로용접과 같은 정밀용접에 이용되는 비소모식 인버터 펄스용접기이며, 인버터 펄스용접기를 제작한 후 실제 부하실험을 통하여 용접기 출력전압과 전류사이의 특성을 측정하고 이 측정 데이터를 기초로 최소자승평균법을 사용하여 아아크 용접기의 모델을 추정하였고, 이 모델을 이용하여 아크 용접기의 특성을 해석하는데 이용하였다.

2. 아크용접기의 모델링

표 1은 실험에 의한 인버터 DC 용접기의 전압과 전류의 측정데이터를 예시한 값을 나타내었다.

표 1. 인버터 DC 용접기의 전압과 전류 시실험 데이터
Tab 1. Voltage and Current Experiment Data of Inverter DC Welder.

전압	70.0	60.0	50.0	40.0	30.0	20.0	15.0	10.0
전류	0.8	2.0	5.0	15.0	22.1	36.0	43.0	50

표 1의 전압과 전류 실험 데이터를 기초로 하고, 아크 길이를 일정하다고 가정시 최소자승평균법을 사용하여 인버터 펄스용접기의 전압, 전류특성에 대한 모델을 다음과 같이 나타낸다.³⁾

$$v = B_1i + B_2 + B_3/i \quad (1)$$

여기에서,

v : 아크 양단에 걸리는 전압(V)

i : 아크전류(A)

B₁, B₂, B₃: 텅스텐 전극, 모재의 화학적성분, 설당가스등의 기하학적 성분 에 기인한 상수
상수 B₁, B₂, B₃를 구하기 위해서 새로운 함수S를 도입하면 식(2)와 같다.

$$S = \sum_{k=1}^N (V_k - B_1 i_k - B_2 - B_3 / i_k)^2 \quad (2)$$

식(2)의 S가 최솟가 되도록 하기위한 B_1, B_2, B_3 는 식(2)를 편미분하여 식(3)으로 놓을수 있다.

$$\sum_{k=1}^N 2(V_k - B_1 i_k - B_2 - B_3 / i_k)(-i_k) = 0$$

$$\sum_{k=1}^N 2(V_k - B_1 i_k - B_2 - B_3 / i_k)(-1) = 0$$

$$\sum_{k=1}^N 2(V_k - B_1 i_k - B_2 - B_3 / i_k)(-1/i_k) = 0 \quad (3)$$

$$\partial S / \partial B_1 = 0,$$

$$\partial S / \partial B_2 = 0,$$

$$\partial S / \partial B_3 = 0,$$

여기서, 식(3)을 다시 표현하면, 식(4)로 된다.

$$\sum_{k=1}^N (B_1 i_k^2 + B_2 i_k + B_3 / i_k) = \sum_{k=1}^N V_k i_k$$

$$\sum_{k=1}^N (B_1 i_k + B_2 + B_3 / i_k) = \sum_{k=1}^N V_k \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^N (B_1 + B_2 / i_k + B_3 / i_k^2) = \sum_{k=1}^N V_k / i_k$$

식(4)를 다시 표현하면, 식(5), (6)이 된다.

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N (i_k)^2 & \sum_{k=1}^N i_k & N \\ \sum_{k=1}^N i_k & N & \sum_{k=1}^N (1/i_k) \\ N & \sum_{k=1}^N (1/i_k) & \sum_{k=1}^N (1/i_k)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N V_k i_k \\ \sum_{k=1}^N V_k \\ \sum_{k=1}^N V_k / i_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N (i_k)^2 & \sum_{k=1}^N i_k & N \\ \sum_{k=1}^N i_k & N & \sum_{k=1}^N (1/i_k) \\ N & \sum_{k=1}^N (1/i_k) & \sum_{k=1}^N (1/i_k)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N V_k i_k \\ \sum_{k=1}^N V_k \\ \sum_{k=1}^N V_k / i_k \end{bmatrix} \quad (6)$$

식(6)을 풀면 B_1, B_2, B_3 의 결과는 다음과 같다.

$$B_1 = 0.01$$

$$B_2 = -1.69$$

$$B_3 = 66.29$$

3. DC 아크와 PULSED 아크사이의 에너지관계

펄스전류와 DC전류를 TIG용접기에 인가했을 경우, 전력관계에 관해서 논하기로 하겠다. 같은 입력전력하에서 펄스전류와 DC전류사이의 관계 및 아크압력비를 비교 분석한다. 여기서 아크압력을 비교하는 것은 아크압력이 용접기의 아아크가 발산하지 않고 얼마나 모재에 도달하느냐를 결정하므로 궁극적으로 열발생특성으로 해석할 수 있기 때문이다. ^{3), 4), 5)}

구체적으로 아크압력과 열발생 특성 사이의 관계를 고려해 보면, 만약 텅스텐 전극근처의 전류밀도가 모재사이의 전류밀도보다 높게 된다면 텅스텐전극의 가스압력은 모재의 가스압력보다 높게 된다. 그리고 텅스텐전극과 모재사이의 가스압력차이는 TIG용접기에 있어서 텅스텐전극에서 모재쪽으로 전자가 흐르는 것을 의미하며 이런 전자의 흐름이 모재에 작용되는 힘을 "아크 압력"이라 부른다. 따라서 아크 압력이 높다는 사실은 모재에 도달하는 전자의 속도가 빠르다는 것이며 궁극적으로 전자의 충돌속도가 높기때문에 모재에서 발생하는 열은 높게 되는 것이다. 본 논문은 이러한 아크압력과 열발생 특성에 근거하여 동일한 전력으로 DC전류와 펄스전류사이의 아크 압력비를 수학적으로 고찰한다.

용접아크 전류는 그림 1과 같이 원추형 도체로 모델화 될 수 있다. ^{6), 7), 8)}

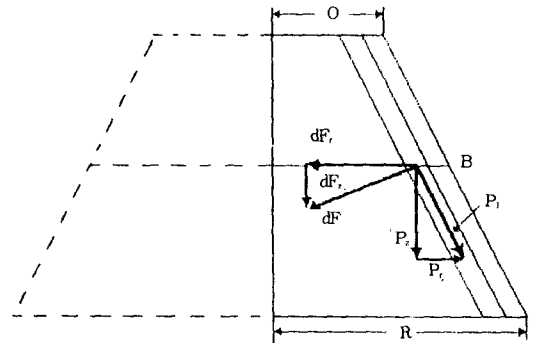


그림 1. 발산하는 원추형 아크의 단면

Fig. 1. Cross section of diverging conical arc.

아크전압을 $v(t)$, 아크전류를 $i(t)$ 라 하면, 용접 아크에 가한 평균전력은 식(7)과 같다.⁴⁾

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt \quad (7)$$

식(1)의 전압방정식을 식(7)에 대입하면 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (i_k)^2 [B_1 i^2(t) + B_2 i(t) + B_3] dt \quad (8)$$

한편, 펄스 아크전류를, 그림 2와 같은 구형파 형태로 가정한다면,

구형파 펄스 아크의 평균전력 P_p 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_p = B_1 [\delta(I_p)^2 + (1-\delta)(I_b)^2] + B_2 [\delta I_p + (1-\delta)I_b] + B_3 \quad (9)$$

그림 2와 같은 펄스파형은 식(10), (11)과 같이 실효전류와 평균전류로 유도된다.

$$I_{eff} = [\delta(I_p)^2 + (1-\delta)(I_b)^2]^{1/2} \quad (10)$$

$$I_{avg} = \delta I_p + (1-\delta)I_b \quad (11)$$

그러므로 펄스아크 평균전력은 평균전류와 실효전류로 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

$$P_p = B_1 (I_{eff})^2 + B_2 (I_{avg}) + B_3 \quad (12)$$

또 DC 아크에 대해서 평균전력은 다음과 같다.

$$P_c = B_1 (I_c)^2 + B_2 I_c + B_3 \quad (13)$$

단, 첨자_c는 DC아크를 의미한다.

동일한 평균공급전력을 바탕으로 펄스아크와 DC아크를 비교하기 위해서 식(12)와 식(13)을 식(14)와 같이 등가적으로 놓을 수 있다. 그래서 DC파라미터와 펄스전류 파라미터의 관계를 파악할 수 있다.

$$P_p = P_c \quad (14)$$

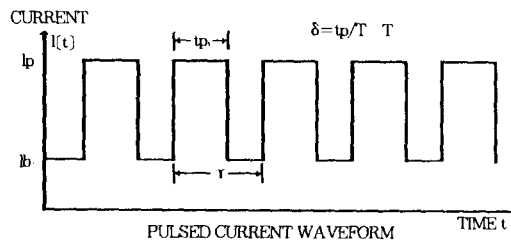


그림 2. 펄스전류의 파형
Fig. 2. Waveform of Pulsed Current.

DC아크의 설정점을 I_c 로 정의하고, 펄스아크의 설정점을 최대전류 I_p 와 베이스 전류 I_b 로 정의하기 위하여, 식(14)를 사용한 피크전류의 듀티 사이클 δ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\delta = \frac{B_1 [(I_c)^2 - (I_b)^2] + B_2 (I_c - I_b)}{B_1 [(I_p)^2 - (I_b)^2] + B_2 (I_p - I_b)} \quad (15)$$

그러므로 펄스전류 아크에 대한 실효치와 평균치는 각각 식(10)과 식(11)에 의해서 구해진다. 아크전력이 식(12), (13)에 의해서 주어지면, 펄스아크에 대한 과형율(Form Factor)은 식(16)과 같이 주어진다.

$$FF = I_{eff}/I_{avg} \quad (16)$$

그림 1를 참고하여, DC아크에 대한 축방향의 아크압력은 식(17)과 같다^{9), 10)}

$$P_z = \frac{F_z}{\pi R^2} = \frac{\mu^2}{4\pi^2 R^2} \ln\left(\frac{R}{ro}\right) \quad (17)$$

펄스아크에서 평균축방향 아크압력은 식(18)과 같다.

$$P_z = \frac{C}{T} \int_0^T i^2(t) dt \quad (18)$$

단, $C = [\mu/4\pi^2 R^2] \ln(R/ro)$

그림 2와 같은 구형파 펄스전류 대해서, 축평균 아크압력(Average Axial Arc Pressure) P_z 는 다음과 같다.¹¹⁾

$$P_z = C [\delta(I_p)^2 + (1-\delta)(I_b)^2] \quad (19)$$

식(19)를 식(17)에 기초하여 다시 표현하면 식(20)이 얻어진다.

$$P_z = \frac{\mu (I_{eff})^2}{4\pi^2 R^2} \ln(R/ro) \quad (20)$$

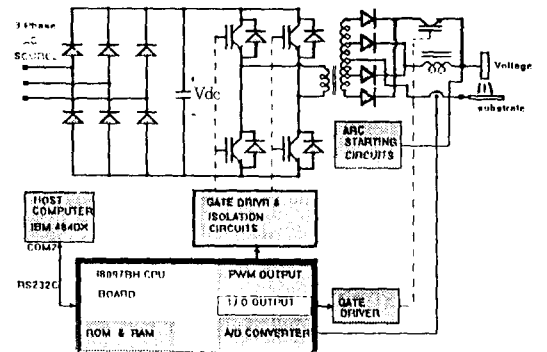


그림 3. 인버터 아크용접기의 구성
Fig. 3. A Configuration of inverter Arc Welder.

아크의 발산이 없어 R과 ro가 같다고 가정하면, 동일전력의 펄스아크와 DC아크에 대해서 축방향의 아크압력비는 다음과 같다.

$$P_R = \frac{P_{Z-pulsed}}{P_{Z-dc}} = \frac{(I_{eff})^2}{(I_c)^2} \quad (21)$$

여기서,

P_R : DC아크에 대한 펄스아크의 축방향 압력비

I_{eff} : 펄스아크의 실효 전류

I_c : DC아크의 일정전류

동일공급전력에 대해서 펄스아크의 평균전류가 DC아크의 전류보다 적음을 나타내고 있다. 모든 경우에 있어서 펄스아크의 축방향 압력은 동일전력의 DC아크 압력보다 크고, 펄스전류의 파형율이 증가함에 따라서 증가하게 된다.

4. 시스템 구성

시스템을 인버터 펄스용접기의 용접특성을 향상시키고 에너지 절감 및 소형화, 경량화, 무소음화를 위해서는 그림 3과 같이 구성한다.

3상 AC전원을 정류하여 DC전원으로 변환시켜 주는 3상브리지 콘버터와 이 DC전원을 고주파 AC전원으로 바꾸어주는 IGBT단상 인버터와 절연변압기, 용접기출력을 DC로 변화시켜주는 2차 출력정류기로 구성되어 있으며 펄스발생회로, 전류제어를 위한 전류센서, 저전류로 순시기동이 가능한 기동회로로 구성되어 있다.

4.1 CPU BOARD

이 용접기의 제어용 프로세서는 전류피드백을 직접 받을수 있는 A/D변환기가 내장되고 PWM 출력기능이 내장된 i8097 16bit ONE-CHIP MICROPROCESSOR를 사용한다.

또 개발의 편이를 위하여 IBM-PC386DX를 HOST COMPUTER로 사용하여 8097BH프로세서의 램(RAM)에 제어프로그램을 DOWN LOADING하여 8097BH프로세서가 메인 CONTROLLER역할을 하게 하였다. 따라서 연산속도가 빠르고 PWM기능이 내장된 i8097H CPU를 사용하여 시스템제어에서 연산처리로 인한 샘플링타임의 지연은 영향을 받지 않게 한다.

4.2 절연변압기

피 용접물과 전기적으로 절연시켜 용접 시스템과 용접자의 안전을 확보하고, 용접전압을 적절히 저하시켜 용접특성을 개선시켜주기 위하여 절연변압기를 사용하고 있는데, 이러한 절연변압기는 체적과 중량을 감소시켜 이동이 간편하고, 용접특성을 향상시켜주기 위하여 20[kHz]정도의 고주파를 사용한다. 따라서 인버터 아아크용접기용 절연변압기는 고주파 특성이 양호한 페라이트 코어를 사용한 절연변압기를 채택한다. 페라이트 코어는 고주파 스위칭에 유용할 뿐만 아니라, 변압기가 고속스위칭을 할때, 철심코어에 비해 포화하는 주파수가 높고, 페라이트코어의 크기가 주파수에 반비례하는 잇점이 있으므로 용접기 시스템의 에너지 절감과 경량화, 무소음화에 많은 도움을 준다. 즉, 주파수 20[kHz]일 때의 체적은 50[Hz]일 때 비하여 1/10로 감소된다. ^{11), 12), 13)}

4.3 IGBT 브리지

스위칭 소자로 보통 파워 TR은 변환 주파수가 0-2[kHz]이고 최고 정격이 300[A], 1200[V]정도이며, 보통 대용량화를 위해서는 모듈을 병렬로 접속하여 사용하는 것이 보통이나 이때 문제점은 개별소자의 스위칭시간의 차이나, 온도특성의 부특성으로 파손이 염려된다. 그러나 MOSFET는 변환 주파수가 100[kHz]로 고속스위칭 특성을 갖고 있고 온도특성도 정(+)특성을 갖고 있어 소자의 병렬동작이 용이하나 시중에서 구입가능한 최고 정격이 50[A], 450[V]정도로 내압이 낮은 것이 결점이다. 따라서 본연구에서는 스위칭 속도가 고속이고 내압이 높은 IGBT를 채용하여 인버터 펄스 아아크 용접기의 특성개선과 에너지절감, 소형화에 기여하고자 한다.

4.4 펄스발생회로

에너지 절감차원에서 정전류보다는 아아크특성이 우수한 펄스 전류를 인가하기 위해서 전류지령치를 펄스로 주었다.

4.5 기동회로

소전류(4A)에서도 완벽히 순시 기동이 가능한

기동회로를 고안 한다.

4.6 전류검출 및 인터페이스회로

인버터 펄스 용접기는 전류제어를 행하기 때문에 전류 피드백을 받는다. 따라서, 전류를 측정하기 위해서 본 논문에서는 Hall센서를 이용하여 전류를 측정한다. 전류검출용 인터페이스 회로는 그림 5와 같다.

Hall CT는 기존의 홀소자와 같이 회로가 전력측과 분리되어 시스템이 안정하다는 장점과 저항을 이용한 차분 전압회로와 같이 측정할 수 있는 전류의 주파수가 높다는 장점을 모두 가지고 있으며, 홀소자의 측정주파수에 대한 제약이나, 교류, 직류, 맥류등 어느 측정도 가능하므로 이 센서를 선택한다.

5. 시뮬레이션 및 실험

2장의 모델링에서 식(6)에서 구한 B_1, B_2, B_3 파라미터를 식(1)에 대입하여, 실험 데이터를 기초하여 최소자승평균법으로 추정된 추정치와 실험에서 측정치를 그래프로 나타내어 상호 비교해본 것이다. 이 결과로부터 실험 데이터를 기초하여 최소자승평균법으로 추정된 추정치가 실험에

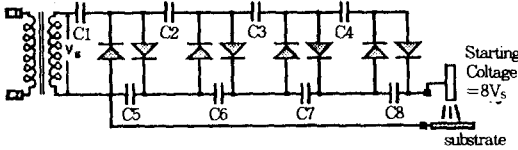


그림 4. 기동회로
Fig. 4. Starting circuits.

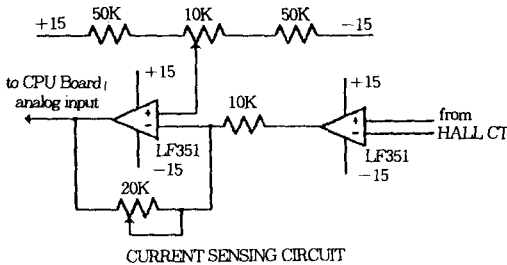


그림 5. 전류검출 인터페이스 회로도
Fig. 5. Circuit of Current detectin circuits.

서 실측정한 측정치와 거의 근사되고 있음을 알 수 있으며, 이를 통하여 모델 추정이 잘 되었음을 입증할 수 있다.

또, 고주파 펄스의 효과를 알아보기 위하여 2장에서 논한 식(15), (19), (20)을 기초하여 DC 전류와 펄스전류 사이의 아크효과를 확인하고자 한다. 여기서, PWM 스위칭 소자(IGBT)의 동작은 $I_b=2[A]$, $I_p=50[A]$ 로 가정한다.

그림 7은 축방향의 아크압력 P_R 과 듀티사이클 δ 에 대해서 나타내고 있다. 그림 7에서 볼 수 있는 바와같이 충분히 작은 최대전류의 듀티사이클

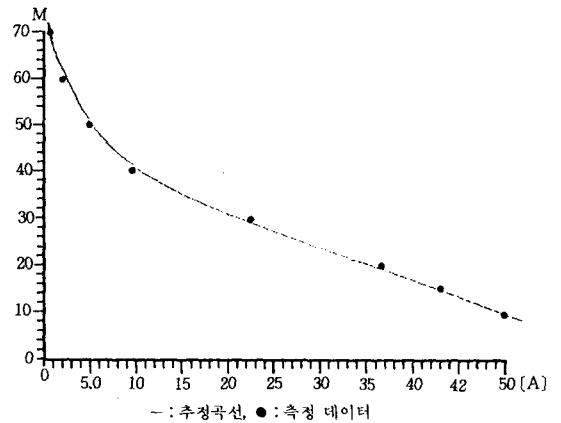


그림 6. 인버터 펄스용접기의 전압, 전류 특성 추정
Fig. 6. Parameter estimation result for voltage and current characteristic of inverter pulse welder.

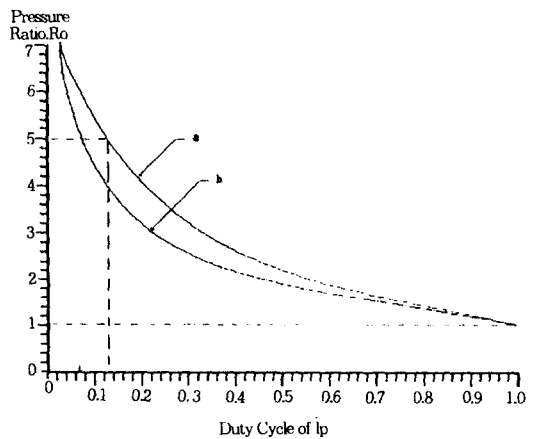
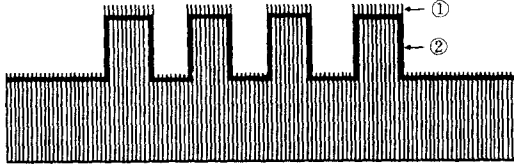


그림 7. 최대전류의 듀티사이클에 대한 축방향의 아크압력비
Fig. 7. Axial arc pressure ratio versus duty cycle of peak current.

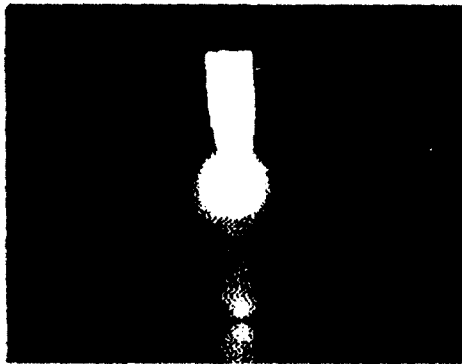
에 대해서 펄스아크의 압력이 동일전력의 DC아크압력에 비해서 7배 이상이 크다. 정격출력의 1/2정도, 즉 $I_{avg}=25[A]$ 에 상승하는 동작점에 대해서 펄스아크의 압력이 동일전력 DC아크보다 50% 정도가 크다. 즉, 동일 공급전력에 대해서 펄



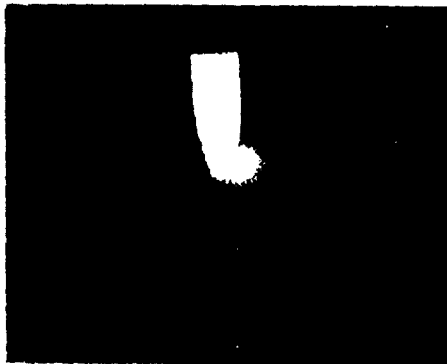
①: 고주파 펄스파형, ②: 구형파 펄스파형

그림 8. 고주파펄스 파형과 구형파 펄스파형의 중첩

Fig. 8. Superposition of High Frequency pulse and rectangular pulse waveform.



(a) 고주파펄스 중첩에 의한 용접



(b) DC 아크용접

그림 9. 고주파펄스와 구형파펄스 중첩시와 DC 아크 용접의 휨비교

Fig. 9. Arc deflection by welder of High Frequency pulse and DC arc welder.

스아크의 평균전류가 DC아크의 전류보다 적음을 나타낸다. 좀 더 구체적으로 말하면, 그림 4는 응용된 부분에 가해지는 축방향의 아크압력이 전류의 제곱에 따라서 변함을 보았다.

그림 4에서, 듀티사이클의 값이 0.13일때 아크압력은 DC 전류시(듀티사이클=1.0일때)의 아크압력이 5배로 증가하게 되고, 아크압력의 증가로 실제 아크열의 5배증가 하는 효과를 가져오게 되며 이는 5배의 에너지 절감효과를 가져오게 된다.

그러나 듀티사이클의 감소로 에너지 절감효과는 증가하나(그림 4의 a곡선의 경우)용접특성이 불량하게(용접표면이 거칠게)되는 결점이 있다.

이것을 보완하기 위하여 용접특성도 좋고 에너지 절감효과도 극대화 되며 용접 아크의 힘도 막아줄 수 있는 획기적인 방안으로 듀티사이클을 최고로 줄여서 그림 8과 같은 고주파 펄스와 구형파펄스를 중첩하여 주는 방법을 고려했다. (그림 4의 b곡선의 경우). 이때, 그림 9는 실험에서 고주파 펄스일 때와 구형파펄스일 때의 아크의 힘을 보여주고 있다.

이 아크의 힘과 발산은 용접특성을 저해시키므로 힘과 발산을 줄여한 한다. 이를 위하여 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이 고주파 펄스파형과 구형파 펄스파형의 중첩용접기로 용접시 아크의 힘이 현저하게 감소됨을 관찰할 수 있다.

용접특성과 에너지 절약정도를 구체적으로 비교 확인하기 위하여 기존의 비펄스형DC용접기, 구형파펄스용접기, 고주파 구형파 펄스 중첩용접



그림 10. SCR DC용접기의 용접외관

Fig. 10. The surface of welding by SCR DC welder

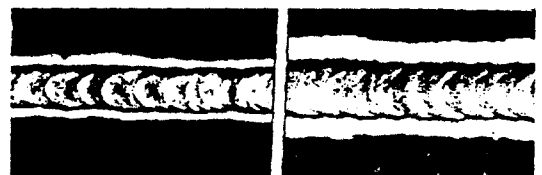


그림 11. 인버터 DC용접기의 용접외관

Fig. 11. the surface of welding by inverter welder

기를 용접속도, 모재이 두께등의 용접조건은 모두 동일 조건으로 실험했다. 또, 에너지 소모를 비교하기 위하여 위의 3종류의 용접기 입력에 전력량계를 접속하여 동일한 용접조건 하에서 10분씩 용접하여 소비전력을 측정후 1시간 사용량으로 환산한 것을 표 2에서 나타냈다. 표 2의 결과로부터 본 연구에서 제안된 에너지절감형 인버터 아크용접기(고주파 중첩형)가 비펄스 DC용접기 보다는 20(%), 구형파 펄스용접기 보다는 15(%)에너지가 절약됨을 확인하였다. 이때 용접전류는 모두 50(A)로 설정하되 용접상태가 유사하도록 조정후 측정한 것이다.

그림 10은 비펄스 DC용접기로 용접한 예를 보여주고 있으며, 그림 11은 구형파 펄스용접기로 용접한 상태이다. 그림 12는 본연구에서 고안한 에너지절감형 인버터 아크용접기(고주파 중첩형)의 용접상태를 보여주고 있다.

그림 13은 SCR DC용접기 전류 파형을, 그림 14는 비펄스형 인버터 DC용접기 전류 파형을,

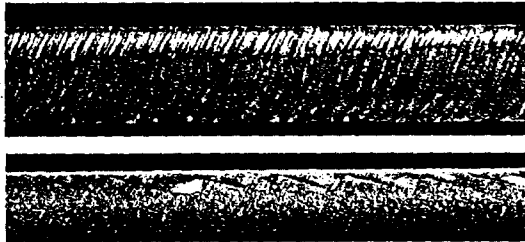


그림 12. 고주파펄스 인버터용접기의 용접외관
Fig. 12. The surface of welding by high frequency pulse inverter welder

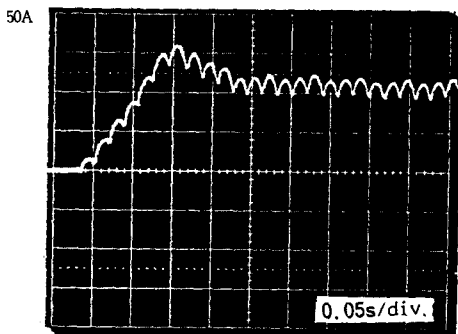


그림 13. SCR DC용접기 전류 파형
Fig. 13. Current waveform of SCR DC welder

그림 15는 구형파펄스와 고주파펄스 인버터용접기 중첩전류파형을 보여 주고 있다. 여기서, 그림 10, 11, 12의 용접외관과 그림 13, 14, 15의 전류파형을 상호비교하여 이로부터 용접전류의 파형이 용접특성에 크게 영향을 줄을 입증 할 수 있다.

6. 결 론

아크용접기의 용접실험을 통하여 용접시 전압,

표 2. 소비전력 비교표

Tab. 2. Consumption of power.

용접기 종류	DC 아크 용접기	구형파 펄스용접기	고주파펄스중첩 용접기
소비전력 (WH)	60(WH)	57(WH) (듀티 싸이클:09)	50(WH) (듀티 싸이클:09)

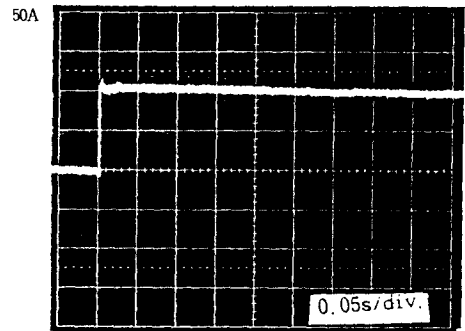


그림 14. 비펄스형 인버터 DC용접기 전류 파형
Fig. 14. Current waveform of DC inverter welder.

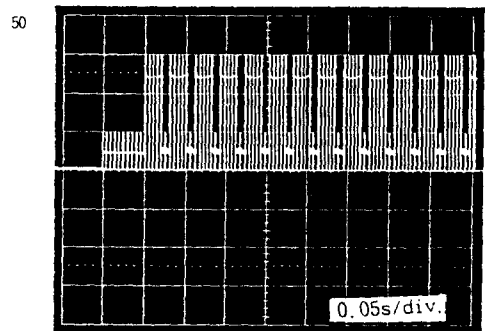


그림 15. 구형파펄스와 고주파펄스 인버터용접기의 전류파형
Fig. 15. superpositon Current waveform of rectangular pulse and high frequency pulse inverter welder.

전류상호관계를 구하고 이를 기초로 최소자승평
 균법에 의하여 모델링하였다. 이 모델링을 이용
 하여 DC아크와 펄스아크 사이의 에너지 관계를
 도출하고 여기서 구형파펄스의 듀티사이클과 에
 너지 절감효과를 시뮬레이션과 실험을 통하여 입
 증하였다. 그러나, 여기서 에너지 절감효과는 크
 게 되나 축방향 아크압력의 증가는 용접특성 저
 하(용접시 용접모재표면에 스파터가 발생)가 일
 어남을 실험을 통하여 확인하고, 이를 발전시켜
 에너지절감효과와 용접특성이 뛰어난 구형파펄
 스와 고주파펄스의 중첩파형을 제안하고 실험을
 통하여 에너지 절감이 약 20[%] 향상되고 용접특
 성이 우수함을 입증하였다.

따라서 응용된 부분에 가해지는 축방향의 압력
 이 전류의 제곱에 따라서 변함을 보았다. 50[A]
 미만의 DC아크에 대해서 응용된 곳에 가해지는
 축방향의 효과는 무시할 만큼 작다. 하지만 동일
 전력의 펄스아크에 대해서 응용된 곳에 가해지는
 축방향의 효과는 무시할 만큼 작다. 하지만 동일
 전력의 펄스아크에 있어서는 펄스전류의 파형을
 이 충분히 클때 DC아크의 축방향 압력보다 7배
 정도가 크다. 이는 거의 350[A]의 DC아크의 아
 크압력과 같다. 낮은 평균전력 펄스아크에 대하
 서 아크압력의 크기가 증가하는 정도는 우수한
 제어성을 나타내는 보다 안정되고 아크방향이 휘
 지 않는 아크(아크가 발산하지 않고 모재로 휨없
 이 모이는 특성)를 발생함을 확인 하였다.

본 연구는 한국전력공사의 지원금으로 연구되었음
 을 알려 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) D.E.Henderson, P.V.kokotovic, J.L.Schiano and D.S.Rhode
 "Adaptive Control of an Arc Welding Process"IEEE Con-
 trol Sys., pp 49-53, Feb., 1993.
- 2) V.V.Smirnov, V.P.Strel nikov, and V.S.Fedorova "Calcula-
 tion of Thermal Fields in Arc Welding of Nonrotation Pipe
 joints," Elektrotehnika, Vol.59, No.6, pp 32-35, 1988.
- 3) S.I.Rokhlm and A.C.Guu, "A Study of Arc Force. Pool

Depression, and Weld Penetration During Gas Tungsten
 Arc Welding", Welding Research Supplemnt, pp 381-390
 Aug., 1993.

- 4) A.A.Shirali and K.C.Mills, "The Effect of Welding Param-
 eters on penetration in GTA Welds", Welding research
 Supplemnt, pp 347-353, July, 1993.
- 5) H.B.Smartt and C.J.Einerson, "A Model for Heat and Mass
 Input Control in GMAW", Welding Research Supplemnt,
 pp 217-229, May, 1993.
- 6) H向 輝彦, 安田 克彦, 春日 辛生 恩澤 忠男, "静止 TIG
 아크による溶接み形態の検査", 溶接學會 論文傑 第
 10卷, 第3號 1992.
- 7) S.D.Kim and S.J.Na, "Effect of Weld Pool Deformation on
 Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten Arc Weld-
 ing", Welding Research Supplemnt, pp 179-193, May,
 1992.
- 8) A.E.Bentley and S.J.Marburger, "Arc Welding Penetration
 Vontrol Using Quantitative Feedback Theory", Welding
 Research Supplemnt, pp 397-405, Nov., 1992.
- 9) George E.Cook, Hussam EL-Dean E.H.Fassa "The Effect
 of High-Frequency Pulsing of a Welding Arc"IEEE
 Transations on Industry Applications, Vol. IA-21, No. 5,
 September/October, 1985.
- 10) J.W.Kim and S.J. Na, "A Self-Organizing Fuzzy Control
 Approach to Arc Sensor for Weld joint Tracking in Gas
 Metal Arc Welding of Butt Joints, Welding Research
 Supplemnt", pp 66-66, Feb., 1993.
- 11) I.Stol, "Development of an Advanced Gas Metal Arc
 Welding Process", Welding Research Supplemnt, pp 313-
 326, Aug., 1989.
- 12) Shih-Liang Jung, Ying-Yu Tzou "Sliding Mode Control
 of a Closed-loop Regulated PWM Inverter under Large
 Load Variations"IEEE Transations on Industry Applica-
 tions, 1993.
- 13) George E.Cook, Peter C.Levick, Doug Welch, A, Michael
 Wells, Jr. "Distributed Microcomputer Control of an Auto-
 mated Arc Welding System" IEEE Transation on Industry
 Applications, 1982.