

직류고전압 아크스타트방식의 펄스인버터 TIG 용접기

任 庸 植, 金 奎 植, 元 忠 淵, 崔 圭 夏, 睦 亨 洙

Pulse Inverter-type TIG Welders Using DC High Voltage Arc Start Method

Yong-Sik Im, Gyu-Sik Kim, Chung-Yuen Won, Gyu-Ha Chae, Hyung-Soo Mok

요 약

본 논문은 펄스 인버터형 TIG(Tungsten Inert Gas) 아크 용접기를 구현하고 용접전원장치의 성능에 관하여 알아본다. 용접전류는 펄스형태로 제어되고 또한 안정된 아크와 좋은 용접성능을 얻을 수 있다. DC 고전압 아크 스타트 시스템을 채용한 TIG 아크용접기에 대해 토치와 용접전원 사이의 연장 케이블이 50m 나 되어도 아크 스타트의 실패 없이 용접을 행할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서, 이 DC 고전압 아크 스타트방식을 이용한다면 용접 전원장치와 용접장이 멀리 떨어져 있는 조선소와 같은 장소에서 유용하리라 생각된다. 이를 확인하기 위하여 시뮬레이션 및 실험을 행하였다.

ABSTRACT

Pulse inverter-type TIG arc welders are implemented and studied to investigate the performance of welding. Welding currents are controlled to be pulse waveforms, resulting in stable arc and better welding performance. In this paper, the arc start system with a short DC high voltage is developed. As the result, the arc will be generated without fail even when the extension cable between the torch and the power source is 50m long. So, this arc start system is useful especially when TIG arc welders are far away from the working places at a shipbuilding yard. To demonstrate the practical significance of our results, we present some simulation and experimental results.

Key Words : TIG arc welders, pulse waveforms, arc start system, torch, power source

1. 서 론

불활성가스 아크용접(inert gas arc welding)은 아르곤(Ar), 헬륨(He)등 고온에서도 금속과 반응하지 않는 불활성 가스 분위기 속에서 텅스텐 봉 또는 금속전극과 모재 사이에 아크를 발생시켜 용접하는 방법이다. TIG 용접은 그림 1에서 볼 수 있듯이 모재와 텅스텐 전극사이에 용접전원과 아크를 쉽게 발생시키기 위해 고주파 발생장치가 접속되어 있다. TIG 용접법은 아르곤 가스 분위기 속에서 텅스텐 전극과 모재(피용접물)간에 아크를 발생시켜 모재 및 용가봉을 용융시켜 금속을 접합한다. TIG 용접의 역사는 1911년 경에 헬륨 가스에 텅스텐 전극봉을 사용하는 방법이 고안된 후

1930년경에 마그네슘(Mg)용접에 응용하였고 1942년에는 미국의 린데(Linde)회사가 고주파 발생장치를 부착시킨 TIG 용접기를 최초로 공개하였다. 이와 같은 TIG 용접기는 인버터와 같은 전력전자기술의 발달과 더불어 많은 연구 및 성능향상이 이루어져 왔다.^[1-4] LC 공진회로를 이용한 고주파 TIG 용접기의 실현^[5]과 구형과 교류형태의 용접전류를 갖는 TIG 용접기의 우수한 용접성능에 관한 연구도 있었다.^[6] 또한, 용접 성능향상을 위해 아크전압센서나 비전센서를 도입한 연구도 있었다.^[7-8] 한편, 용접품질을 향상시키기 위해 지능제어기법을 적용한 연구도 있었다.^[9] 여기서는 퍼지론과 인공지능 뉴럴네트워크 이론에 입각하여 자기학습퍼지 및 뉴럴네트워크 제어가 펄스 TIG 용접

시스템의 실시간 제어에 응용되었다. 펄스 TIG 용접기의 동적 용접성능을 향상시킬 목적으로 뉴럴네트워크를 이용한 다변수 퍼지 자기동조 PID 제어기가 제안되었다.^[10] 비전센서를 갖는 지능 용접로봇 시스템이 자동 TIG 용접장치에 응용되기도 하였다.^[11] 한편, GMAW[Gas Metal Arc Welding] 용접에서 아크방전 중의 전기적인 특성에 관한 분석 및 연구^[12] 와 용접 중의 전압이나 전류의 변화를 감지하는 비접촉 아크센서를 이용하여 아크 스타트의 성능을 판단하는 연구들도 있었으나^[13] TIG 용접기의 아크스타트에 관한 연구는 흔치 않다. 현재 산업현장의 대부분의 TIG용접기는 고주파 발생장치를 이용해 아크 스타트를 행하고 있다.^[14] 이때, 전극과 모재 사이의 케이블이 길어질수록 고주파 전류가 상당히 약해져 아크 스타트를 실패할 경우가 많다. 케이블의 길이가 길어져도 아크를 발생하는데 충분한 전압을 공급할 수 있도록 직류 고전압 아크 스타트 방식을 채용한 직류 펄스 TIG 용접기의 성능을 전력전송선로의 회로 모델을 통해 확인하고 실제 전력선 케이블의 길이에 따른 아크 스타트율을 실험하여 그 두가지 아크 스타트방식의 장단점을 비교함을 본 연구의 목적으로 삼는다.

물론, 여기서 언급한 아크 스타트방식들을 채용하지 않고 아크를 스타트할 수 있는 TIG 용접에 관한 연구^[15] 도 있었으나 이 방식은 전극의 위치제어나 용접전류의 모니터링과 같은 정밀 계측제어가 필요하여 수동용접에는 적합치 않다.

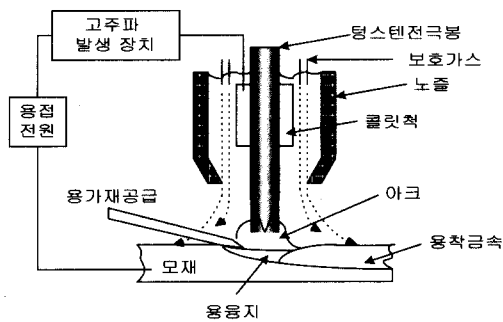


그림 1 TIG 용접
Fig. 1 TIG welding

2. 펄스 인버터 TIG 용접기

2.1 고주파 전압 아크 스타트 방식

공기 중에서 불연속적으로 일어나는 방전현상인 불꽃방전은 공기 중에서 두 극을 접근시키고 전극간의

전압을 높여 어느 정도에 도달하면 전극간의 공기를 통해 불꽃이 튀고 방전이 일어난다. 일반적으로 기체는 전기의 절연체이지만 기체내의 전장이 상당히 커지면 기체의 절연성은 없어지며 빛과 소리를 내면서 방전이 일어나고 전극의 전기는 순간적으로 중화된다. 고주파 발생회로는 그림2와 같이 방전 갭, 고압콘덴서와 코일에 의해 불꽃 방전회로를 구성하며 고주파 발생을 위한 전원은 승압변압기에 의해서 2k~5kV의 고압을 얻고 있다. TIG 용접에서 교류전원을 사용할 경우에는 연속적으로 고주파 전류를 사용해야 하므로 그림3과 같이 교류 전원의 역극 반주기에 아크 재점화를 쉽게 하여 불평형 부분을 감소시킨다. 고주파 전류는 수천 볼트(V)정도로 캐패시터에 충전된 후 스파크 갭(spark gap)에서 방전한다. 고주파 전류는 반주기마다 한 번씩 방전되면서 회로에 진동전류를 흐르게 하고, 이것은 철심이 없는 변압기의 2차측에 유도되어 전류가 용접회로에 흐르게 되며 각 주기마다 같은 위상과 1/120초의 방전시간을 가지고 방전한다. 고주파는 모재와 텅스텐 전극과의 사이에 불꽃 방전을 일으킬 만큼 높은 전압이 필요하며 용접아크로 이동하려면 고주파 발생이 신속하고 그림4와 같이 그 횟수가 많은 것이 바람직하다. 또한, 직류 아크 전원에서는 일단 아크가 발생되면 고주파 불꽃은 필요 없게 되므로 이를 자동적으로 정지시킨다. 그러나, 교류 아크 전원에서는 고주파 불꽃을 계속 유지시켜야 아크가 안정하게 된다. 고주파 발생장치를 이용하여 텅스텐 전극과 모재사이 공간을 절연 파괴시킨 다음 용접전류를 급격히 올리는 방법은 토치 케이블이 긴 경우에는 고주파 전력이 케이블에 의해 감쇄되어서 스타트 미스(start miss)가 많아진다. 잦은 아크 스타트 미스는 전극의 소모를 가져오고 용접품질에도 나쁜 영향을 미치게 된다.

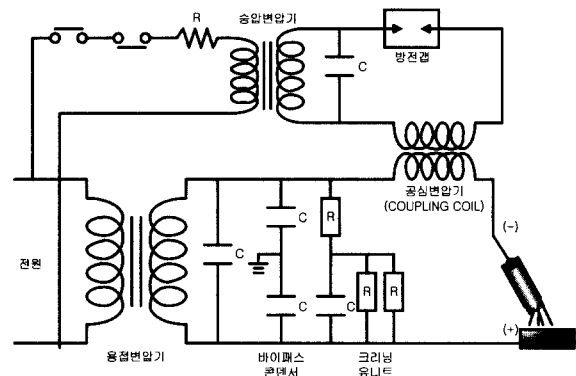


그림 2 고주파 전압 아크 스타트 방식
Fig. 2 High frequency voltage arc start method

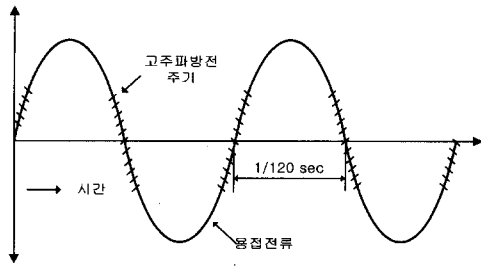


그림 3 교류 용접전류의 고주파 발생
Fig. 3 High frequency generation of AC welding current

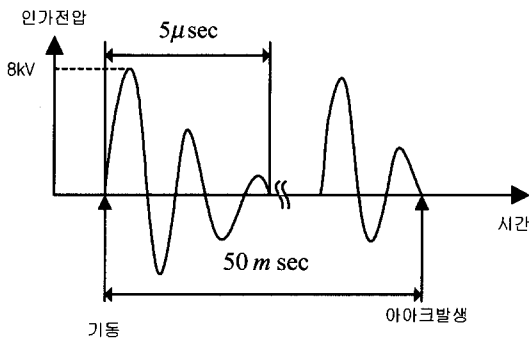


그림 4 고주파 전압 아크 스타트의 파형
Fig. 4 The Waveform of high frequency voltage arc start

2.2 직류 고전압 아크 스타트 방식

종래의 고주파 발생장치보다 우수한 아크 스타트 특성을 갖기 위하여 직류 고전압 아크 스타트 방식을 고려한다. 그림 5에서와 같이 용접전원과 DC 고전압을 발생시킬 수 있는 회로로 구성되며 토치 스위치가 ON 되고 나서 직류 고전압 회로에 의해 8kV정도의 직류 고전압을 발생시켜 전극과 모재 사이의 절연을 파괴하고 아크가 발생하면 용접전류로 전환한다. 만약 미스 스타트의 경우는 고전압을 그림 6과 같이 0.2초내에 OFF시켜 초기상태에서 다시 시작한다. 한편, 직류 고전압 회로에 접촉된 경우는 회로의 내부 저항에 의해 전류는 수 mA로 억제된다. 그림2와 그림5의 두 아크 스타트방식을 비교하면, 그림 2에서는 고주파 전압을 발생시키기 위한 승압변압기와 방전갯, 그리고 공심변압기등이 있는 반면 그림 5에서는 직류 고전압을 발생하고 이를 본체 용접전원장치에 역류하지 못하게 하는 block diode 가 있다. 이 block diode 는 내압이 크고 허용 용접전류이상의 전류용량에 견디어야 하므로 고

가이고 따라서 전체적으로 그림 5의 직류고전압 아크 스타트방식이 경제적으로 다소 비싼 단점이 있지만 아크 스타트를 향상등 그 장점을 살려 최근 외국의 TIG 용접기에는 이 방식으로 바뀌고 있다. 그러나, 국내 TIG 용접기에는 아직 이 직류고전압 아크스타트방식을 채용하지 못하고 있다.

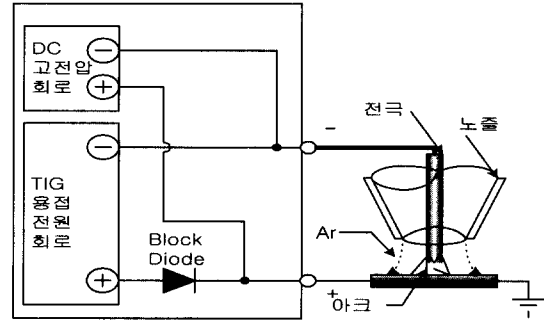


그림 5 직류 고전압 아크 스타트 방식
Fig. 5 DC high voltage arc start method

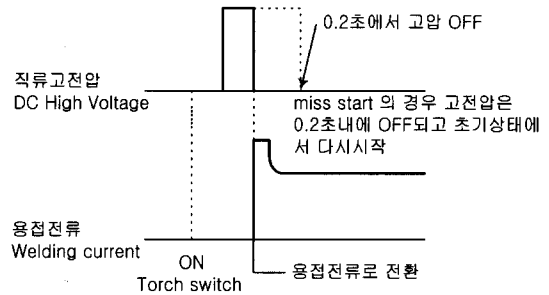


그림 6 직류 고전압 아크 스타트
Fig. 6 DC high voltage arc start

2.3 전원장치와 토치사이의 전력전송선로의 모델링

전원 장치와 토치 사이의 전력 전송선에 대한 회로 모델은 전송선의 미소구간이 갖는 인덕턴스, 캐패시턴스, 병렬 컨덕턴스 및 병렬 저항들로 구성된다. 그림 7 과 같이 길이 Δz 인 전송선의 미소구간을 생각하면 저항은 $R\Delta z$, 인덕턴스는 $L\Delta z$, 컨덕턴스는 $G\Delta z$, 그리고 커패시턴스는 $C\Delta z$ 가 된다. 이 선로의 구간을 어느 축에서나 보나 동일하므로 직렬저항 및 인덕턴스를 2개의 직렬소자로 나누면 그림7과 같은 대칭회로가 된다. 그림8과 같은 2선식 전송선에서 도선의 반경을 a , 도선의 도전율(conductivity)을 σ_c , 도선과 도선사이의 거리 (center to center separation)를 d , 도선사

이 매질의 투자율(permeability)을 μ , 유전율(permittivity)을 ϵ , 도전율을 σ 라 했을 경우에 도선 사이의 단위 길이당 커패시턴스, 인덕턴스, 저항, 컨덕턴스는 다음과 같이 주어진다.^[16]

$$C = \frac{\pi\epsilon}{\cosh^{-1}(d/2a)} \quad (1)$$

$$L = \frac{\mu \cosh^{-1}(d/2a)}{\pi} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{\pi a \sigma_c} \quad (3)$$

$$G = \frac{\pi\sigma}{\cosh^{-1}(d/2a)} \quad (4)$$

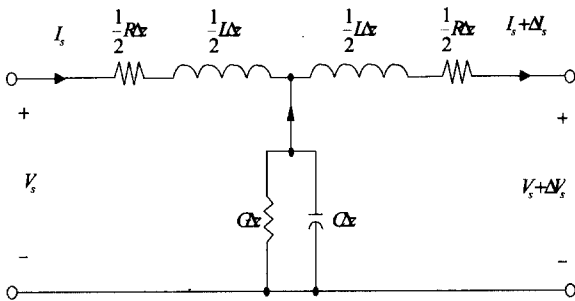


그림 7 미소구간 전력전송선로의 모델링
Fig. 7 modelling of infinitesimal interval power transmission line

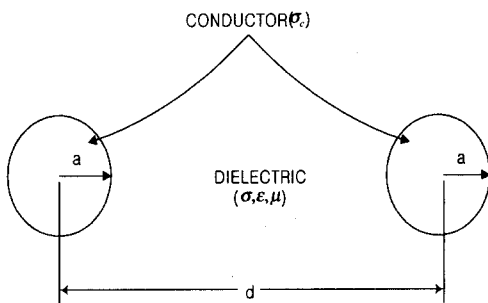


그림 8 2선식 전송선
Fig. 8 2 wire transmission line

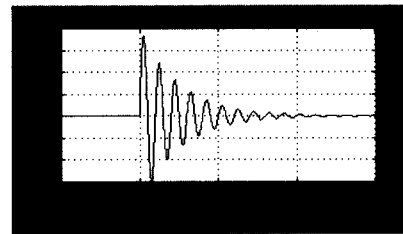
3. 시뮬레이션 및 실험

펄스 인버터 TIG 용접기에 사용되는 일반적인 전력

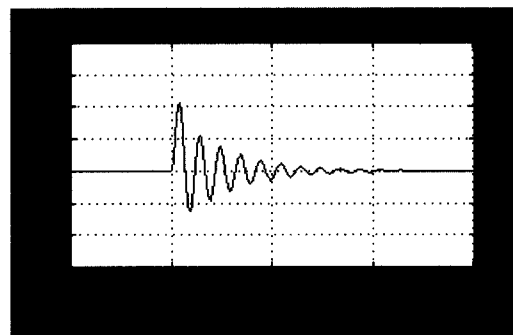
표 1 시뮬레이션을 위한 전송선로 매개 변수
Table 1 Transmission line parameters for simulation studies

| 매개 변수 | 데이터 |
|------------|--|
| a | $3 \times 10^{-3} [m]$ |
| d | $3.5 \times 10^{-2} [m]$ |
| σ | $10^{-12} [\varnothing/m]$ |
| σ_c | $5.80 \times 10^7 [\varnothing/m]$ |
| ϵ | $\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} [F/m]$ |
| μ | $4\pi \times 10^{-7} [H/m]$ |

전송선로를 고려한 시뮬레이션을 수행하기 위하여 각각의 파라미터를 다음의 표 1과 같이 주었다. 파우어 라인의 재질은 구리를 그리고 도선사이의 매질은 공기를 각각 기준으로 하였다. 표 1의 파라미터들을 이용



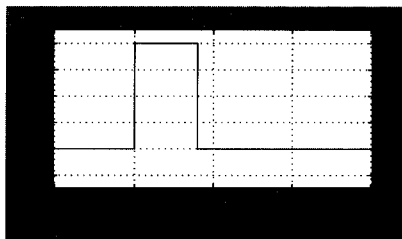
(2KV/div, 0.5usec/div)
(a) 입력 전압
(a) input voltage



(2KV/div, 0.5usec/div)
(b) 출력 전압
(b) output voltage

그림 9 고주파전압 아크 스타트방식의 응답특성
Fig. 9 Output responses of high frequency voltage arc start method

하여 식(1) - (4)에 해당하는 전송선로의 각 변수의 값을 구하고 이러한 변수값들을 이용하여 그림 7과 같은 미소 전송선로를 확대한 50m 길이의 토치케이블을 대상으로 고주파 전압 아크 스타트방식(그림2)와 직류 고전압 아크 스타트방식(그림5)에 대해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션한 결과가 각각 그림 9와 그림 10에 있다. 그림 9와 그림 10에서는 각각 두 가지 아크 스타트 방식의 전력 전송선로인 파워 케이블의 양쪽 끝 전압 즉, 전원장치쪽 출력전압과 토치 끝 전압을 보여준다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 고주파 전압 아크 스타트 방식은 용접기 전원장치에서 용접개시에 나오는 고주파 전압이 케이블에 의해 감쇄된 전압(토치끝 전압)으로 토치 끝에서 방전을 일으키게 되므로 초기 스타트의 실패 가능성이 커진다. 이에 반해 구형파 전압원을 사용하면 그림 10과 같이 그 감쇄가 심하지 않음을 볼 수 있다.



(2KV/div, 0.5usec/div)

(a) 입력 전압

(a) input voltage



(5KV/div, 0.5usec/div)

(b) 출력 전압

(b) output voltage

그림 10 직류 고전압 아크 스타트방식의 응답특성

Fig. 10 Output responses of DC high voltage arc start method

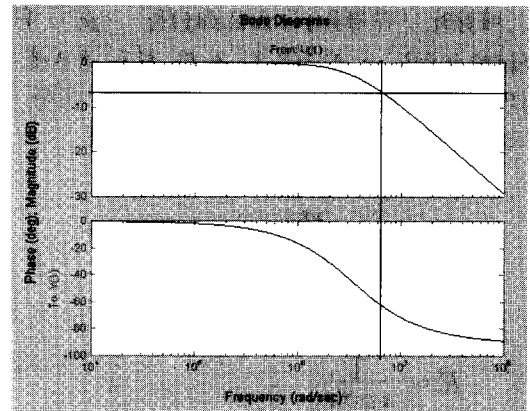


그림 11 전송 선로에 대한 보드 선도

Fig. 11 Bode plot for the transmission line

그림 11에서는 전송선로인 파워 케이블의 주파수 응답 특성을 보기 위해서 Bode Plot을 보여주고 있다. 주어진 고주파 전압 아크 스타트 방식의 입력 주파수는 $2 \times \pi \times 10^6$ [Hz]이므로, 이 주파수대의 입력이 이 전송선로를 통과하게 되면 입력에서 -7 [dB] 정도의 감쇄가 생기게 된다. 본 연구를 위해 구성한 펄스 인버터 TIG 용접기의 간단한 블록선도가 그림 12에 있다. 전원 및 인버터부에서는 3상 입력을 정류하고 평활하여 DC전원을 생성한 후 인버터의 스위칭에 의해서 펄스형 AC로 바뀐다. 이는 트랜스포머를 통해 전력변환되고 트랜스포머의 2차측 다이오드를 통하여 정류되고 리액터를 거쳐 평활되어 리액터를 통과한 DC 전력이 용접봉과 모재사이의 아크 발생원이 된다. 3상 220V를 입력하고 정격출력전압이 20V, 정격출력전류가 300A인 펄스 TIG 용접기를 구현함에 있어 사용자 인터페이스, 전류제어기 실현등을 위해 프로세서로 80c196을 이용하였다.

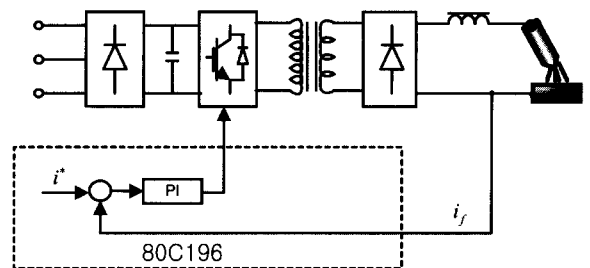
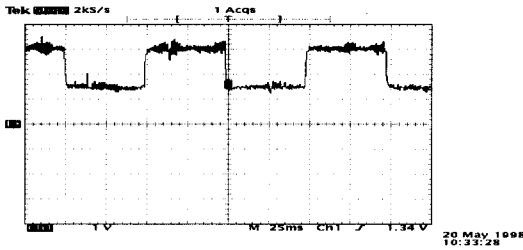


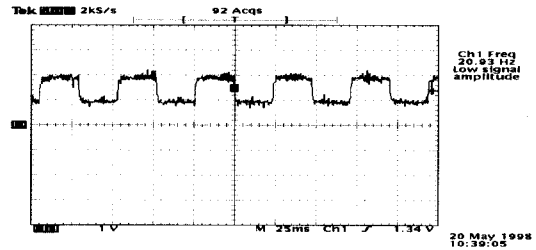
그림 12 인버터 TIG 용접기의 블록선도

Fig. 12 Block diagram of the inverter TIG welders



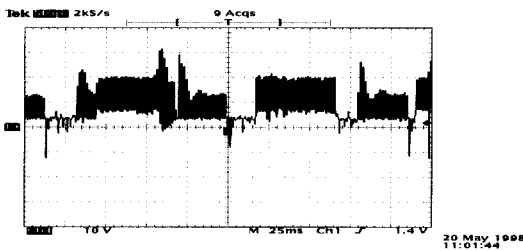
(50A/div, 25msec/div)

(a) 용접전류 파형
(a) waveform of welding current



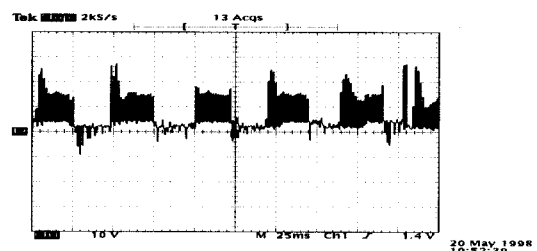
(50A/div, 25msec/div)

(a) 용접전류 파형
(a) waveform of welding current



(10V/div, 25msec/div)

(b) 용접전압 파형
(b) waveform of welding voltage



(10V/div, 25msec/div)

(b) 용접전압 파형
(b) waveform of welding voltage

그림 13 펄스주파수 = 10Hz, 기저전류 = 75A, 피크 전류 = 150A 의 실험결과

Fig. 13 Experimental results of pulse freq.=10Hz, base current=75A, peak current =150A

그림 14 펄스주파수 = 20Hz, 기저전류 = 50A, 피크 전류 = 100A 의 실험결과

Fig. 14 Experimental results of pulse freq.=20Hz, base current=50A, peak current=100A

그림 12과 같은 펄스 인버터 TIG 용접장치의 정전류 시험을 행한 결과가 그림 13와 그림 14에 있다. 이때 용접전류의 듀티비는 0.5로 일정하게 둔 상태에서 시험하였다. 정전류 모드에서 제어되기 때문에 일반적으로 전압 파형은 펄스주파수와 크기가 균일하게 제어되지 않음을 알 수 있다.

한편, 그림 9와 그림 10에 대한 직접적인 실험보다는 간접적이지만 용접에서 실제적인 관심사인 아크 스타트율로 실험하였다. 10m 씩 파우어 케이블의 길이를 늘려가며 50m 까지 5가지의 경우에 대해 각각 100회의 아크스타트를 시도하여 성공한 회수를 관찰한 아크 스타트율에 대한 실험결과가 그림 15에 있다. 그림 15에서 알 수 있듯이 직류 고전압 아크 스타트방식의 경우가 더 나은 아크 스타트 성공율을 보이고 있다.

마지막으로, 두께 1.2t 의 스테인레스강에 대해 텅스텐 전극봉 1.6 ϕ 기저용접전류 30A, 피크용접전류 30A,

펄스주파수 10Hz, 용접속도 400mm/min, 차폐아르곤가스 5 l/min으로 25°의 각도로 용접한 결과가 그림 16(a)에 있다. 또한, 두께 0.5t 의 스테인레스강에 대해 텅스텐 전극봉 1.0 ϕ 기저용접전류 10A, 피크용접전류 20A, 펄스주파수 10Hz, 용접속도 400mm/min, 차폐아르곤가스 5 l/min으로 180°의 각도로 용접한 결과가 그림 16(b)에 있다. 이들의 용접비드를 관찰한 결과 양호한 용접성능을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 펄스 인버터 TIG 용접기에 관한 연구를 행함에 있어 아크스타트의 성능을 높이고 좋은 용접품질을 얻기 위해 직류고전압 아크 스타트방식을 채택하였다. 고주파 전압 아크 스타트 방식에서 생기는 고주파 전류의 케이블 손실에 따른 스타트 미스등

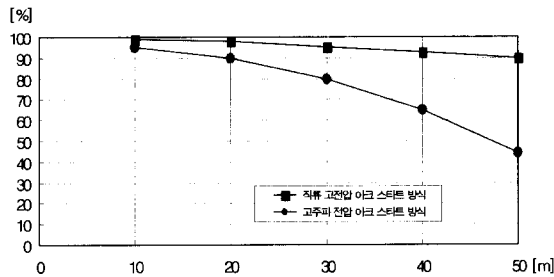
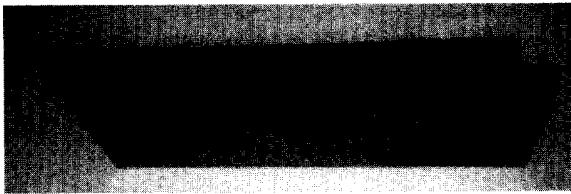
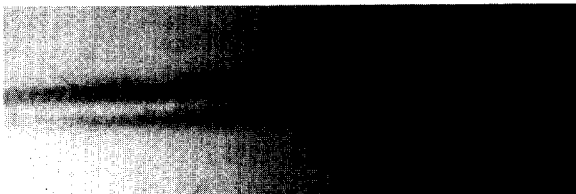


그림 15 아크 스타트율
Fig. 15 Arc start ratio



(a)



(b)

그림 16 펄스 TIG 아크 용접결과
Fig. 16 Welding results of pulse TIG arc welder

을 줄이기 위해 채택한 고전압 아크 스타트방식에 대해서 전력전송선로의 회로모델에 대한 시뮬레이션 및 스타트율에 대한 실험을 통해 케이블에 의한 손실이 심하지 않음을 알 수 있었다. 이 방식은 용접전원장치와 용접장이 멀리 떨어져 있는 조선소와 같은 곳에서 유용하리라 생각된다.

본 연구는 한국과학재단 '97 특정 기초 연구비 (97-01-01-01-3) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] G. E. Cook, "Modeling of electric welding arcs for adaptive feedback control," *IEEE IAS 1983 Conf. Rec.*, pp.1241-1244, 1983.

[2] D. E. Henderson, P. V. Kokotovic, J. L. Schiano, and D. S. Rhode, "Adaptive control of an arc welding process", *IEEE Control Systems*, pp. 49-53, Feb., 1984.

[3] R. W. Richardson, D. A. Anderson, and D. F. Farson, "Coaxial arc weld pool viewing for process monitoring and control," *Welding Journal*, Vol.63, No.3, pp.43-50, 1984.

[4] G. E. Cook, Hussam El-Dean, and E. H. Eassa, "The effect of high-frequency pulsing of a welding arc," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. IA-21, No.5, Sept./Oct., pp.1294-1299, 1985.

[5] X. M. Zeng, A. B. Parker, and J. Lucas, "High-frequency TIG-welding power supply with microprocessor control," *IEE Proceedings*, Vol.137, No.4, July, pp.184-192, 1990.

[6] X. M. Zeng, J. Lucas, Y. Y. Ren, and A. B. Parker, "Welding with high-frequency square-wave AC arcs," *IEE Proceedings*, Vol.137, No.4, July, pp.193-198, 1990.

[7] B. J. Corlett, J. Lucas, and J. S. Smith, "Sensors for narrow-gap welding," *IEE Proceedings-A*, Vol.138, No.4, July, pp.213-222, 1991.

[8] A. Bicknell, J. S. Smith, and J. Lucas, "Arc voltage sensor for monitoring of penetration in TIG welds," *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, Vol.141, No.6, November, pp.513-520, 1994.

[9] S. B. Chen, L. Wu, Q. L. Wang, and U. C. Liu, "Self-learning fuzzy neural networks and computer vision for control of pulsed GTAW," *Welding Research Supplement*, May, pp.201-209, 1997.

[10] Wen Li and Shanben Chen, and Hui Sun, "A multivariable fuzzy self-tuning PID controller using neural network," *Int. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV'98)*, pp.699-703, December, 1998.

[11] Y. Suga, T. Shimamura, T. Fujio, and K. Ogawa, "Application of neural network to control penetration in arc welding," *International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp.175-180, May, 1999.

[12] R. Hajosy, P. Pastva, and I. Morva, "Ignition of a welding arc during a short-circuit of melted electrodes," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, pp. 1058-1065, 1999.

[13] D. Barborak, C. Conrardy, B. Madigan, and T. Paskell, "Through-Arc process monitoring techniques for control of automated gas metal arc welding," *Proceedings of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, pp. 3053-3058, May, 1999.

- [14] 오우석, 김규식, 원충연, 최규하, 목형수, "인버터 TIG 용접기의 아크스타트 방식에 관한 연구," *대한전기학회 전력전자연구회 학술발표회 논문집*, pp.19-22, 1999.
- [15] Joh B. Ijorgvinsson, Robert Joel Barnett, Geoge E. Cook, Kristinn Andersen, "Microprocessor control of arc starting for Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)", *IEEE Proceedings-1990 Southeastcon*, pp.787 - 791, 1990.
- [16] William H. Hayt, "Engineering Electromagnetics" pp.376 - 401, 1995.
- [17] 강윤기, 이춘호, 채영민, 목형수, 최규하, "에너지 절감형 고주파 인버터 용접기에 관한 연구," *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp.519-521, 1994.



최규하(崔圭夏)

1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 졸업(공학). 1987년~1988년 미국 오레곤주립대 객원교수. 1997년~1998년 건국대 연구처장 역임. 현재 건국대 공대 전기공학과 교수. 당학회 총무이사.



목형수(睦亨洙)

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(공학). 1992년~1996년 서울산업대 공대 제어계측공학과 조교수. 현재 건국대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 학술위원.

저 자 소 개



임용식(任庸植)

1972년 10월 12일생. 1999년 서울 시립대 공대 제어계측공학과 졸업. 현재 서울시립대학원 전자전기공학부 석사과정.



김규식(金奎植)

1958년 8월 25일생. 1981년 2월 서울대 공대 전자공학과 졸업(학사). 1983년 2월 동 대학원 제어계측공학과(석사). 1990년 8월 동 대학원 제어계측공학과(박사). 1988~92년 대우중공업 중앙연구소 선임 연구원. 1993년~현재 서울 시립대학교 전자전기공학부 부교수. 당 학회 편집위원.



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1997년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수. 당 학회 학술이사.