

CO₂ 용접기의 대전류영역에서의 단락이행 유도에 의한 용접성능개선에 관한 연구

채영민* 고재석 구자열 최규하 목형수 김규식** 원충연***

*건국대학교 전기공학과 **서울시립대학교 제어계측공학과 ***성균관대학교 전기공학과

A Study on Welding Performance Improvement using Short-Circuit Metal Transfer Induction on High-current CO₂ Arc Welding Machine

Y.M. Chae*, J.S. Gho, J.Y. Goo, G.H. Choe, H.S. Mok, K.S. Kim**, C.Y. Won***

*Dept. of Electrical Eng. , Konkuk Univ.

**Dept. of Contr. & Instru. Eng. , Seoul City Univ.

***Dept. of Electrical Eng. , Sung kyun kwan University

ABSTRACT

The metal transfer of CO₂ arc welding machine can be divided into short-circuit(low current) and globular(large current) metal transfer. Especially in large current region, the main problem of CO₂ arc welding machine is much spatter generation which is caused by mainly instant short-circuit metal transfer. So in this paper describes new current control method in large current region, which can improve welding performance and lessen spatter generation. And as a result of experiment, the effect of proposed control method is demonstrated.

전류영역에서는 단락이행에 의한 용접을 하고 대전류영역에서는 글로블라이행을 이용하게 되는데 문제가 되는 영역은 순간 단락이 많이 발생하는 단락이행에서 글로블라이행으로 옮겨가는 부분이다. 이때 순간단락이 가장 빈번하게 발생함에 따라 발생하는 스패터량도 증가한다. 따라서 대전류 영역에서 적절히 순간단락을 제어하면 스패터량도 제어할 수 있을 것을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 순시전류파형제어실험 도중 대전류영역에서도 단락이행유도가 가능하다는 것을 발견하였으며, 순시전류파형제어시의 용접제어특성을 바탕으로 중전류 및 대전류에서의 스패터 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대를 하였다. 따라서 본 연구를 통해서 대전류영역에서 단락이행을 통해서 스패터량을 제어하고자 하고자 하며 대전류영역에서의 단락이행가능성을 실험을 통해서 증명하고자 한다.

1. 서론

GMA(Gas Metal Arc Welding)에서 국내에서는 주로 가스를 아르곤보다 가격이 저렴한 CO₂를 많이 사용한다. 그러나 CO₂는 가격이 저렴한 반면에 아르곤보다 아크를 안정화시키는 못하는 경향이 있다는 문제점을 안고 있다. 따라서 아크가 안정되지 못하기 때문에 아크가 소멸된다든가 아니면 잦은 순간 단락을 유기하여 다량의 스패터를 발생시킨다.[1][2]

국제용접학회(IIW)에서 분류한 금속이행(Metal Transfer)현상은 크게 자유비행이행(Free flight transfer), 브리징이행(Bridging transfer), 슬래그 보호이행(Slag-protected transfer) 등으로 구분할 수 있다.

용접성능을 평가하기 위해서는 여러 가지 용접상태중에서 특히 비드의 모양이나 용입의 깊이, 발생스패터량등이 중요한 평가요소로서 이러한 평가 요소를 만족시키기 위해서 CO₂ GMA 에서는 단락이행과 글로블라이행을 이용 한다. 특히 저

표 1 금속이행현상 분류(국제용접학회,IIW)

Metal Transfer	Welding Application
Free flight transfer ○ Globular transfer - Drop transfer - Repelled transfer ○ Spray transfer - Projected transfer - Streaming transfer - Rotating transfer ○ Explosive transfer	Low current GMAW CO ₂ GMAW Middle-low current GMA Middle current GMA High Current GMA SMAW
Bridging transfer ○ Short circuiting transfer ○ Bridging without interruption	GMA, SMAW with filler metal
Slag-protected transfer ○ flux-wall guided transfer ○ etc.	SAW SMAW,FCAW,ESW

2. CO₂ 인버터 아크 용접기의 구성

CO₂ 인버터 아크 용접기의 구성은 그림1과 같이 구성된다. 3상전원에서 DC전압을 얻기 위한 다이오드 정류기 부분과 인버터부분 그리고 트랜스포머 및 단상 다이오드 정류회로, 출력단 DC 리액터로 구성이 된다. 또 전력부회로 이외에도 순시전류제어를 행하기 위해서는 제어부와 드라이브회로가 필요하다.

출력측 트랜스포머는 고주파 트랜스포머로서 스위칭 주파수에 해당하는 전압이 교류로 인가 되며, 출력측 고속 다이오드 정류기는 교류를 다시 직류로 변환하는 역할을 한다. 출력측 리액터는 안정한 아크를 유지 또는 아크발생을 돕기위한 역할을 한다.

기존의 인버터 용접기에서는 리액터스에 의해서 전류의 증감하는 기울기를 제어하는 방식이어서 비교적 큰 리액터스가 요구되었으나 순시전류제어방식의 인버터 용접기에서는 순시적인 전류의 증감을 제어해야 되므로 상대적으로 적은 리액터스가 요구된다.

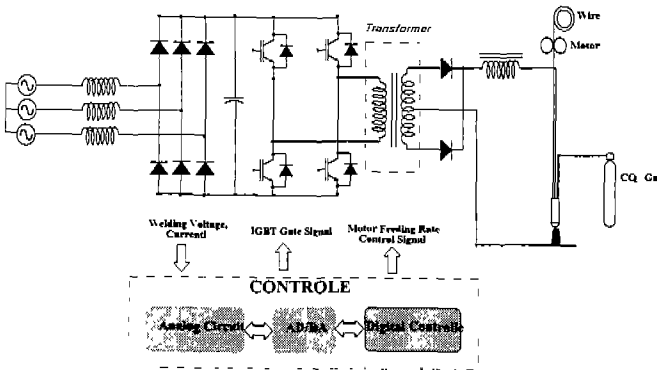


그림 1 전력부 구성도

3. 단락유도 제어알고리즘

가. GMA에서의 금속이행

GMA용접에서 이용되고 있는 금속이행은 표1에서 보았듯이 저전류영역에서는 단락이행이, 대전류영역에서는 글로블라이행이 이용된다. 각각의 금속이행과정을 그림2와 그림3에 나타내었다. 그림2의 단락상태에서 아크발생으로 변화할 때 핀치력에 의해 용적이 과단되며 아크가 재발생하는데 이때 스파터가 가

장 많이 발생한다. [1][2]

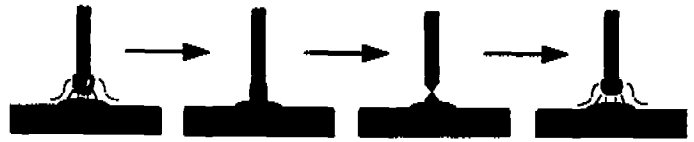


그림 2 단락이행

글로블라이행은 그림3과 같이 아크열에 의해 와이어가 용융해서 와이어의 직경보다 큰 용적이 초당 수개에서 수십 개로 이행하며 이때 중력이 가장 큰 영향을 미친다. 그림3(a)는 용적의 무게가 이행을 저해하는 힘을 초과하는 순간까지 용적이 성장한 다음, 중력에 의해 분리되며 주로 저 전류 밀도의 용접에서 발생한다. 그림3(b)는 CO₂ GMA용접에서 용적하단부에 집중된 전자기적 반발력 때문에 옆으로 치우쳐서 이행한다.



(a) Drop (b)Repelled

그림 3 글로블라이행

나. 기존의 전류파형제어 알고리즘

기존의 파형제어의 개념은 단순히 리액터에 의한 전류의 기울기 제어와 비슷한 개념으로서 인버터에 의한 전류기울기를 제어하는 방식이었다. 이를 일컬어 전자리액터라고 불리기도 한다. 이러한 방식은 단순히 전류의 기울기만을 인버터의 출력의 평균전압을 제어함으로써 행하였다. 따라서 제어의 속응성이 떨어지고 용접성능이 우수하지 못하였다.

그러나 마이크로 프로세서를 채용하여 일부 단락구간에서 순시전류제어를 행함으로써 좋은 성능 개선을 했다는 보고가 있다.[2] 이 방식의 제어 개념은 그림4의 전압전류 파형에 나타나 있다.

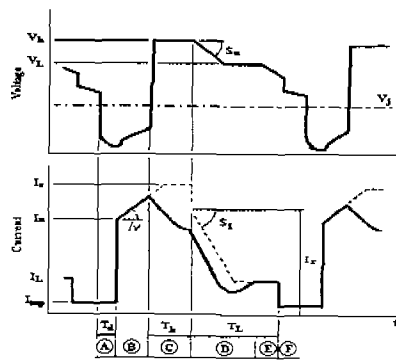


그림 4 파형제어에 의한 전압 전류

㉔구간은 단락지연으로서 단락 상태의 균일화를 목적으로 하고, ㉕는 단락시 전류상승을 억제하던 것을 제한치를 두고 해방시켜 용적형성 전까지 도달하게 하고, ㉖는 용적이 형성되는 부분이며, ㉗는 순간단락을 방지하기 위한 용적의 정형을 한다. ㉘는 용적의 과대 성장을 막는 역할을 한다.

그러나 이 방식의 단점은 단락과 아크상태에 따라서 각기 전류제어기와 전압제어기를 모드전환하여 구분하여 사용한다. 즉 단락구간에서는 전류제어모드로 제어가 수행되고 아크 구간에서는 전압제어모드로 변환되어 동작하게 된다.

다. 순시파형제어 알고리즘

순시전류제어 알고리즘은 전압검출신호에 동기된 기준전류를 프로세서를 이용해서 만들어내고 만들어진 기준전류를 PI 전류제어기를 통해서 실제전류가 추종하도록 제어하는 방식으로 용접전류를 직접적으로 제어함으로써 용접전류의 동특성을 향상시킬 수 있으며 아크전압은 전류에 종속적으로 나타나게 된다. 모터제어나 컨버터등에서의 순시전류제어는 일반화된 제어기법이지만 용접기에서의 스파터저감을 목적으로하는 순시전류제어기법은 국내에서는 이제 시작 단계에 불과하다.

순시전류제어를 위한 블록다이어그램은 그림5와 같다. 용접기출력단 전압을 검출하여 필터링을 거쳐서 프로세서의 입력으로 받는다. 입력전압을 기준으로 하여 단락과 아크상태를 판정하여 아크 제어 시이퀀스를 시작하게 된다. 단락이 발생하게 되면 일정한 지연시간을 주고 나서 단락부를 용융시키도록 전류를 급상승하는 프로파일을 만들어 내게 된다. 전류프로파일을 D/A 컨버터로 출력하여 실제전류와의 오차를 만들어내고 PI제어기에서 전압지령치로 변환한 후 삼각파와 비교하여 변조를 행하게 된다. 따라서 매 스위칭시마다 실제 용접전류는 전류프로파일을 추종하게 되고 간단히 용접기의 전류제어를 구현할 수가 있다.

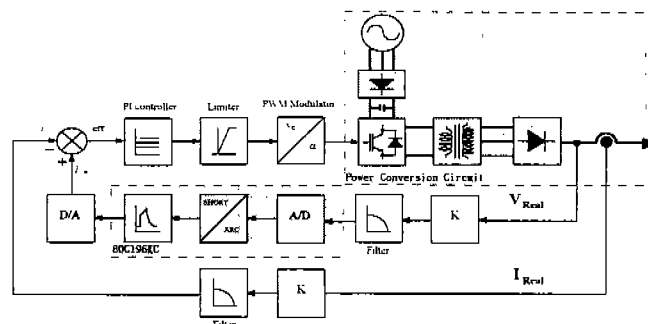


그림 5 블록다이어그램

용접시이퀀스의 시작은 토치스위치의 ON검출부터 시작된다. 토치스위치가 ON되면 전류프로파일은 일정 베이스전류가 되

게 되고 인버터는 최대 듀티의 전압을 출력하게 되고 초기 용접이 시작된다. 이때 단락전압이 검출되면 전류프로파일을 만들기위한 시이퀀스에 들어가는데 회색으로 처리된 부분이 이에 해당된다. 또한 순서도에는 토치스위치가 OFF되어 용접을 끝내고자 할 때 일정시간 지연을 두고 인버터가 운전을 정지하도록 하는 Antistick부분이 추가 되어 있다.

용접시이퀀스는 타이머 인터럽트에 의하여 일정한 시간간격 (Sampling Time) 으로 수행되기 때문에 실제 시이퀀스 회로 처럼 동작을 하여 용접 시이퀀스를 형성하도록 설계하였다.

다. 순시전류제어에 의한 대전류에서의 단락유도효과

일반적인 대전류 영역에서의 용접시에는 글로벌라 또는 글로볼라와 단락이행이 혼재하는 급속이행이 행해진다. 전술한 바와 같이 글로볼라 이행에서도 순간 단락이 발생할 수 있고 이때 대립의 스파터가 발생한다고 알려져 있다.

그러나 파형제어에 의한 순시전류제어를 행하게 되면 평균전류에 비해 상대적으로 낮은 베이스전류를 흘려주면서 용접을 한다. 따라서 베이스전류에서는 용융을 적게 하게 되고 송급와이어의 속도는 일정하다고 했을 때 단락이 발생하게 된다. 단락이 발생하면 일정 지연시간 동안 베이스전류를 유지하게 되므로 단락상태를 더욱 공고히 하는 작용을 하게 된다. 따라서 대전류영역의 용접에서도 단락을 유도 할 수가 있게 된다.

라. 단락유도를 위한 순시전류제어 조건[3][4][5]

출력전류와 송급모터의 속도관계는 일반적으로 용접조건으로 필드에서 경험적으로 적정조건을 찾아내어 용접을 행하게 된다. 또한 순시전류제어 알고리즘을 적용하는데에는 일반용접기에서의 용접조건을 찾는 것 보다 더욱 어려운데 이는 순시전류제어에 따라서 전류원으로 작용하여 와이어의 송급속도와 정확히 동기가 이루어져야 하기 때문이다. 따라서 출력전류와 송급모터의 속도 관계를 정량적인 관계로 해석하여 제어기상에서 용접전류에 따라 송급모터의 속도를 자동으로 맞추도록 함으로서 아크의 안정화 및 스파터 저감 효과 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대가 된다.

용접에 기여하는 열원은 크게 Anode Heating과 전기저항의 주열열이며 방사열과 스파터발산등에 기여하는 에너지는 무시할 만하다고 가정할 수 있다. 아크의 길이, 용접모재의 이송속도는 용접재료의 용융속도에 거의 영향을 주지 못하므로 고려대상에서 제외한다.

Anode와 Cathode에서 발생한 열과 용적에서 소비하는 열이

열평형을 이룬다고 하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$H_a + H_R = H_w + H_s \quad (1)$$

여기서 H_a, H_R, H_w, H_s 는 각각 *Anode Heating*, 전극의 *Resistance Heating*, 금속의 용융열과 잠열의 합 그리고 용적으로 연속적으로 전달되는 열에너지이다.

식1로부터 공급되는 와이어의 질량에 대한 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$m = (C_1 I + C_2 L I^2) \Delta t \quad (2)$$

여기서, C_1 과 C_2 는 상수이다.

또 식2를 식3과 같이 표현하면 단위시간당 용융되는 와이어의 양과 전류와의 관계식이 유도된다. 식에서 전류와 용융되는 양과의 관계는 2차 함수의 관계에 있으며, 전극의 길이와는 선형 관계가 있음을 알 수 있다.

$$m / \Delta t = C_1 I + C_2 L I^2 \quad [Kg/Sec] \quad (3)$$

또 식3을 와이어 송급속도와 전류와의 관계식으로 표현할 수 있는데 와이어의 밀도를 ρ , 단면적을 S , 와이어송급속도 v , 시간을 Δt 라고 하면 다음과 같이 질량 m 을 대신할 수 있다.

또 와이어 송급속도에 대하여 정리하면 식4과 같이 쓸 수 있다. 식4의 고찰에 의하면 *Electrode*의 *Extention*이 일정하다면 와이어의 송급속도와 용접전류와의 관계는 2차함수의 관계에 있다.

$$v = C_1' I + C_2' L I^2 \quad [m/Sec] \quad (4)$$

여기서, C_1', C_2' 는 각각

$$C_1' = \frac{C_1}{\rho S}$$

$$C_2' = \frac{C_2}{\rho S}$$

와 같다.

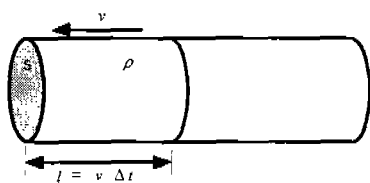


그림 6 송급 와이어모식도

4. 실험 및 고찰

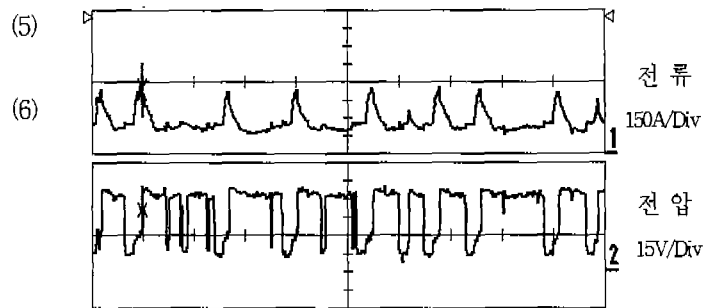
본 연구에서 제안된 고전류 영역에서의 단락유도를 실험하기 위해서 컨트롤러는 중급의 마이크로프로세서인 80C196KC를 적용하였고, 프로그래머는 C를 사용하여 유연성(Flexibility)을 유지하고자 하였다.

대전류 영역중에서 본 실험에서는 320A를 대상으로 하였고 이 전류에서 일반 용접기는 글루플레이행을 하게되는데, 순시 전류제어에 의한 단락유도기법에 의해서는 대전류에서도 단락이행할 수 있는 것을 그림7(a)를 통해서 알 수있다. 그림에서 볼 수 있듯이 단락후 3ms의 지연시간이 전류제어에 의해 나타나고 있었음을 확인할 수 있으며, 또한 단락구간에서의 상승시에 상용으로 시판되는 용접기를 전력변환부에 사용한 결과 과도한 리액턴스의 영향으로 전류의 상승기울기가 지수함수적 증가 모양을 보이고 있는 것을 알 수가 있다.

그림7(b)는 용접조건이 맞지 않는 경우의 전압 및 전류 파형이다. 즉, 와이어의 송급속도를 기준 전류에 동기 시키지 않은 경우의 파형으로 오히려 순간단락이 많이 발생함을 보여주고 있으며, 극단적으로 아크가 소멸하는 현상도 관찰할 수 있었다.



(a) 용접 조건이 맞는 경우



(b) 용접 조건이 맞지 않는 경우

그림 7 용접조건에 따른 용접 전압, 전류 파형

5. 결론

참고문헌

본 연구에서는 대전류영역에서 단락이행을 통해서 스파터량을 제어하고자 하고자 하며 실험을 통해서 대전류영역에서의 단락이행의 기능을 실험을 통하여 증명하였다. 또한 대전류영역에서의 단락이행을 위한 전류제어 조건으로서 송급와이어의 속도제어가 반드시 수반되어야 함을 확인할 수 있었으며, 송급속도가 적절히 조정되지 않으면 아크의 소멸이나 다수의 순간 단락이 발생할 수 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해서 대전류영역에서의 순시전류제어에 의한 단락이행모드로의 전환이 가능함과, 순시전류제어를 위한 조건을 제시했지만 순시전류제어의 조건을 수동조작으로 조정하고 있다. 따라서 순시전류제어 조건을 위한 와이어의 송급속도의 자동조정 문제와 용접시의 비드의 상태등 전체적인 용접성능향상에 대한 연구가 지속되어야 한다.

본 연구는 1997년도 학국과학재단 특정기초 연구비 지원에 의하여 이루어 졌음.

- [1] 생산기반기술개발센터 용접접합기술 : "용접기술 심포지움", 1996. 11. 13
- [2] T. Mita : "How Little Spatter can be achieved ? (1) Approach by Welding Power Source", Journal of Japan Welding Soc., Vol.59, No.8, 1992, pp.12
- [3] A. Lesnewich : "Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metal arc welding, part I-control of electrode melting rate", Welding Research Supplement, Aug. 1958, pp.343 ~ pp.353
- [4] A. Lesnewich : "Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metal arc welding, part II-control of metal transfer", Welding Research Supplement, Oct. 1958, pp.418 ~ pp.425
- [5] J. F. Lancaster : " The Physics of Welding", Pergamon press, 2nd ed., 1986, pp.246