

인버터 제어방식의 플래쉬버트 용접기술개발

이 왕하, 강 문진*, 이 성희
 포항공업과학연구원 기전연구팀, 설비용접연구팀*

The welding technology for inverter controlled Flashbutt welder

Wang-Ha Lee, Mun-Jin Kang*, sung-Hee Lee
 Research Institute of industrial science & Technology

Abstract - 자동차 분야에 있어서 자동차 바퀴의 림(rim)용접에서 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. 좋은 용접품질 획득을 위한 균일한 가열을 위해 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 전류제어기술이 개발되면 큰 효과를 기대할 수 있다. 본 논문에서는 DSP controller를 이용하여 사이리스터 위상제어를 다이오우드 정류기와 직류 링크 커패시터, PWM 인버터로 구성해 인버터 방식의 정전류제어 기술을 개발하여 용접성을 비교 실험하여 결과를 보여준다.

1. 서 론

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. 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.

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 전류제어기술이 개발되면 큰 효과를 기대할 수 있다.

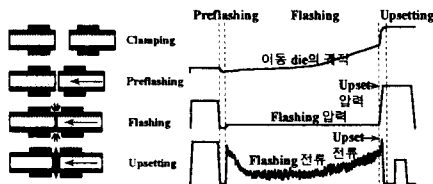


그림 1. Flash butt 용접 공정

기존의 대부분의 대전류 저항 용접 시스템은 사이리스터 소자를 이용한 단상 교류식은 구조가 단순하고 가격이 저렴하기 때문에 많이 사용하는데, 안정범위가 좁고, 외관과 단상입력으로 순시 입력 역률이 낮기 때문에 전원 공급측면에서 좋은 용접기는 아니다 또한 용접전류가 맥동 하기 때문에 너깃 형성과정에서 용융부를 중심으로 팽창과 수축을 반복하여 큰 너깃을 형성하는 경우가 발생한다. 그러나 인버터 직류식은 전류 맥동은 있지만 무시할 수 있는 정도이고, 이상적인 온도상승이 얻어지고, 전류가 집중하기 때문에 낮은 전류로 작은 원통형의 너깃을 형성시킨다 그러나 단점으로써,

- ① 정류기가 필요하고 냉각수의 관리가 필요하다.
- ② 전극의 극성이 고정되어 양극측이 요철형상으로 되기 쉽다
- ③ 도금강판에서는 극성에 의해 용접이 곤란하게 되어 불가능한 경우가 있다.
- ④ 교류식과 비교하여 피용접물이 자화되기 쉬어 잔류자기도 큰 경향이 있다

따라서 본 논문에서는 이상의 단점들을 극복하면서, 기존의 저주파변압기를 사용할 수 있는 범위내로 인버터 방식의 정전류제어를 수행하는 방식이다. 이상과 같이 제안된 논문에서는 기존의 사이리스터 방식과 제어특성을 비교 검토하기 위해서 실험적으로 고찰하였다

2. 입력 전류 제어형 대전류 고효율 인버터 저항 용접 시스템

2.1 정류부 (diode module)

정류부는 고압 diode stack으로 구성하고, 구성방식은 full-bridge diode 정류 type으로 구성하며 PWM 인버터의 입력인 직류 링크전압을 일정하고, 안정된 직류 전원을 공급한다. 고압 diode의 선정은 이상 과다 전압에 의해서 보호될 수 있도록 하며, 과부하 조건 250% 30초에서도 충분한 내량을 갖도록 선정한다.

2.2 PWM 인버터

다이오우드 정류기를 거쳐 직류 링크 접압은 PWM 인버터의 입력으로 전달되고, 인버터의 출력은 변압기 및 2차측 리액터를 거쳐 F/B 용접기의 양 전극단에 가해진다. 인버터의 경우 직류 링크 전압 (V_C)이 인버터

의 스위칭함수 $S_{INV}(t)$ 에 의해 변압기 1차전압 $v_T(t)$ 로 변환되고, 변압기의 2차전압, 직류인 경우에는 $V_R(t)$ 는 정류회로 및 리액터를 거쳐 용접기 출력 전압 $V_a(t)$ 으로 바뀌어 용접단에 인가되고, 교류인 경우에는 정류회로를 거치지않는다. 그림2(a)에 아아크 전압부를 포함한 인버터 출력단을 나타내었으며 이상의 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

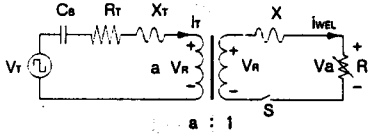


그림 (a) 인버터 용접기의 등가회로

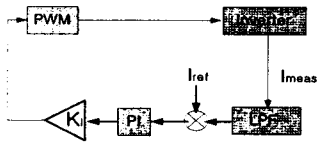


그림 (b) 제어블럭선도

그림 2 인버터 Flashbutt 용접기 제어블럭도

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

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

(단, R_T : 변압기 권선저항, L_T : 변압기 인덕턴스)

여기서 변압기 1차전압 $v_T(t) = V_c S_{INV}(t)$, 정류회로의 출력전압 $v_{DC}(t) = S_{REC}(t) v_R(t)$ 이다. 그런데, 용접전압과 전류의 관계는 대단히 비선형적인 특성을 가지는데, 단락·아아크 어떤 상태에 있어서도 가열은 전류에 의한 것이다. 단시간에 접촉이 일어나 흐르는 단락전류 및 단락이 떨어져 아아크가 발생한 때의 아아크전류는 다음과 같은 식에 의해서 계산될 수 있다.

i) 단락시의 전류

단락시는 그림2(a)에 나타난 회로에서 스위치를 닫은 것에 상당하고, 흐르는 전류는 다음식으로 주어진다.

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha - \phi) - I_m \sin(\alpha - \phi) \cdot e^{-t/T} \quad (3)$$

단, 전원전압은 $v_R = V_R m \sin(\omega t + \alpha)$ 로 되고, $t=0$ 의 순간에 단락이 일어난 것으로 하고, α 는 그 때의 전원전압의 위상각, ϕ 는 역률각을 나타낸다. 또한 I_m 은 단락정상전류의 파고치, T 는 회로의 시정수(sec)이고, $T=L/R$ 로 주어진다.

ii) 단락이 떨어져 아아크가 발생한 때의 전류
이 경우는 그림2(a)에 나타난 회로에서 스위치 S를 open한 것에 상당한다. 이 스위치 S의 양단에 발생하는 아아크전압을 v_R 라 하면 전원 전압과의 관계는

$$v_R = L \frac{di}{dt} + Ri + v_a \quad (4)$$

로 된다. 지금, v_a 를 전류에 관계없이 일정한 V_a 라 가정하면, 전류는 다음식으로 주어지는 것으로 된다.

$$i = I_m \sin(\omega t + \alpha' - \phi) - V_a / R (1 - e^{-t/T}) \quad (5)$$

단, 아아크는 $t=0$ 인 순간에 발생하고, α' 는 그 때의 전원전압의 위상각으로서 $\alpha' > \phi$ 라 가정하고, 더욱이 $t=0$ 의 전류는 정방향으로 흐른다고 가정하고 있다. 또한 위식은 $i=0$ 인 지점에서 아아크는 소실하고 이후는 성립하지 않는다.

본 연구에서 제어를 그림3과 같이 구성하고, 실제 용접전류를 피검하여 저역 통과필터를 통과시키고, 설정치의 값을 추종하도록 하였다. 본 연구에서는 다이오드 정류기를 이용하여 정전류 제어를 목표로 하였다.

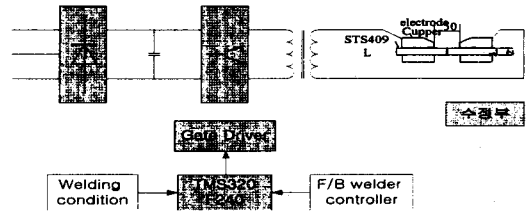


그림 3 제안된 전체 시스템도

3. 대전력 F/B 용접 시스템 설계

본 연구에서는 다이오드 정류기를 사용하여, 직류 링크 캐패시터를 사용하였다. 기존의 상용 주파수용 main 변압기를 그대로 활용할 수 있는 주파수로 인버터주파수로 한정하였다. 그래서 본 연구에서는 주로 주파수를 60~240Hz로 제한하여 사용하였다. PWM 방식은 인버터 주파수가 매우 낮은 관계로 캐리어 주파수를 사용하지 않고, 단펄스를 사용하여 측정하였다.

4. 측정 및 실험

본 연구에서는 기존의 사이리스터 제어 방식과 인버터 방식을 주파수별로 가변시키면서 실제 용접부의 상태 및 금속학적인 조사를 통하여 상기 방식과의 비교 검토를 실험적으로 고찰하였다. 특성 비교를 위하여 일정 전류에서 고장력 광판만을 사용하여 실험하였다. 실험은 RIST 보유 Flashbutt 용접기를 사용하였다. 기존의 기계적인 부분을 그대로 이용하며, 전원부를 인버터화하고, 상용전원 주파수용 변압기를 이용하여 사용가능한

높은 주파수영역으로 인버터 주파수로 설정했다.

주파수는 240Hz까지로 제한하고, 여러단계로 실험을 진행했다.

그림 4~7까지는 주파수별로 설정전압의 증가에 따른 용접전류 및 전압, 펄스폭과의 관계를 보이고 있는 것으로 선형성이 유지됨을 확인할 수 있다. 그림 8,9는 설정전압이 각각 0.5V, 1.0V 일때 주파수의 증가에 따른 용접전류, 용접전압 및 스위칭 듀티의 거동을 각각 나타낸 것이다. 그림에 따르면 모두 주파수의 증가와 더불어 용접 최고전류와 전압 최고치가 적어지고, 듀티는 증가되는 것을 알 수 있다. 특히 주파수가 240Hz 이상이 되면 통전 가능한 듀티에서의 용접전류가 급격히 적어질 것으로 예상되고 이러한 경우 플래쉬 용접조건을 잘 설정할 필요가 있음이 시사된다.

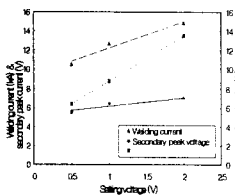


그림 4. 60Hz

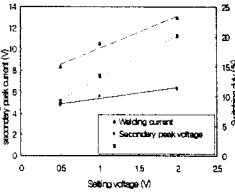


그림 5. 120Hz

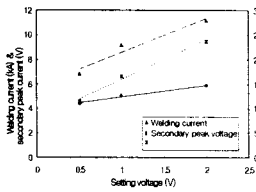


그림 6. 180Hz

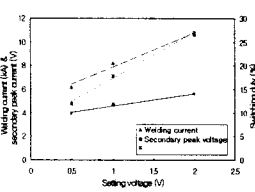


그림 7. 240Hz

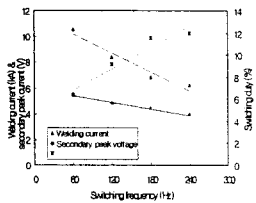


그림 8 (0.5V)

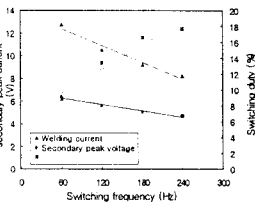


그림 9 (1V)

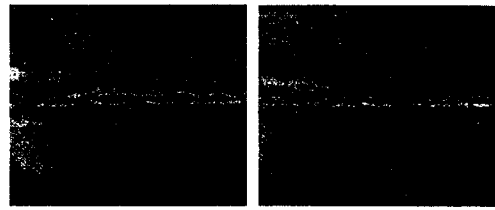
그림10은 고장력강을 사용하여 주파수별로 용접을 한 결과로써, 주파수가 증가함에 따라서 외형적인 용접 형상은 균일해짐을 할 수 있다.



(a) 60Hz



(b) 120Hz



(c) 180Hz

(d) 240Hz

그림 10 60 kg/mm²급 고장력강

5. 결론

본 연구에서는 대용량의 제철라인에 사용되는 Flashbutt 용접기의 제어 성능을 개선하기 위해 사이리스터 대신에 다이오드 정류기와 IGBT를 이용한 대용량 PWM 인버터 flashbutt 용접 시스템 대하여 논하였다. 제안된 시스템에 대하여 TMS320F240을 이용하여 시스템을 설계하고, 시뮬레이션을 통하여 최적의 시스템 정수를 채택하여 설계하고, 인버터에 의한 정전류제어의 효과를 기존의 사이리스터와 비교 검토하였으며, 실험결과 다음과 같은 특성을 얻을 수 있었다.

- 1) 용접부 형상의 균일화
- 2) 용접부 인장강도 향상

앞으로 본 연구에서 사용한 PWM 주파수가 매우 낮고, 단펄스 방식을 사용한 결과로 프래싱의 불규칙으로 인해 산화발생하는 문제점 개선하기위해 향후 다양한 PWM 방법을 적용하고, 다른 제어 개념의 도입 및 다이오드 정류방식 이외에 PWM 컨버터를 적용하여 정전압제어, 정전류제어 나아가 전력제어를 적용하는 등 후속적인 연구가 필요하다고 하겠다.

본 연구는 산업자원부의 지원으로 이루어진 과제로서, 참여기관으로써 여러가지 지원을 한 한국 웰탐에 감사드립니다

[참고문헌]

- [1] 강문진,이왕하, "인버터 제어방식의 고장력강 Flashbutt 용접기술 개발", 산업자원부, 2000
- [2] 최규하, "입력전류 제어형 고효율 인버터아크 용접 시스템의 입력 및 출력 특성연구", 전력전자학회는문지, 제5권, 제 4호,pp 358, 8월, 2000년
- [3] 용접학회 경량구조조합가공연구위원회편, "저항용접현상과 그응용 (IV)", 1993년
- [4] 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