

현장 적용형 Mash seam 용접기의 개발

Development of a Mash Seam Welder for the Factory Application

이 왕 하, 박 상 국

(Wang-Ha Lee and Sang-Gug Park)

Abstract : In this paper, a power controller and 3 phase voltage source inverter are proposed for the improvement of weldability of large scaler Mash seam welder. The welder system is designed for the low cost and the improvement of weldability. For this system, the thyristor convertor has performed constant current controlling in the output terminal by using PAM type inverter. We have simulated our algorithm and made a prototype welder for experiment. Through the experiment, we have confirmed the improvement of weldability of our system.

Keywords : mash seam welder, weldability, PAM type inverter

I. 서론

얇은 코일형 강판에 열처리 작업의 편리를 위하여 코일 형으로 만든 것은 연속하여 용접하는 곳에 주로 사용하는 Mash seam 용접은 저항용접의 일종이다. 이는 수백 kVA급의 대용량으로써 이전에는 주로 교류형인 사이리스터 스위치를 사용하였다[1,2,3]. 사이리스터 위상 제어형에서는 SCR의 On/Off 주기가 상용주파수으로써, 출력단의 전류 제어 주파수 또한 상용주파수로 제한되기 때문에 큰 출력단 리액터, 변압기등이 필요로 한다. 따라서 이러한 단점을 해소하기 위해서 최근에 소형 아크 용접 등에 활용되고 있는 인버터 기술을 도입하면 리액터, 변압기의 소형화는 물론 출력단 정전류 제어에서도 뛰어난 제어성능을 발휘하여 용접 품질 향상에 기여할 수 있다[4-9]. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 목적을 수행코저 먼저 입력부를 사이리스터 정류기로 구성하고, DC 링크 전압을 조절한다. 다음으로 고조파를 줄이기 위해서 PWM 인버터부에서는 최대구간으로 On/Off 하도록 하여 출력단에서 정전류 제어를 하는 PAM(phase amplitude modulation) 방식을 적용시켜 실험한 결과 스테인레스 강판, 고강도강판 및 도금강판 등의 용접에서는 기존의 방식에 비해서 용접성이 개선됨을 확인하였다.

II. Mash seam 용접

Mash seam용접은 열원이 이동하면서 용접이 진행되는 준정상적 용접부 형성방식으로, 공정 기술적 측면에서 볼 때 spot, projection등과 같은 저항 용접법에 속한다. 그림 1은 Mash seam 용접기를 나타낸 것으로, 좌측의 그림은 용접기의 정면도, 중앙의 그림은 측면도를 그리고 우측은 용접기의 전체 공정에 대한 회로 구성도를 나타낸 것이다. 용접방법은 그림 1의 중앙부에서 보는 바와 같이 두개의 회전하는 원형전극을 사용하여 용접부를 상하에서 가압하면서 전류를 통과시켰을 때 발생하는 저항열에 의하여 접합시킨다. Mash

seam용접은 방법적인 측면에서 연속적인 spot용접으로 취급할 수 있으나, 이 경우 기밀이나 수밀이 보장되지 않고 shunting effect에 의해 첫번째 spot용접 이후에는 높은 전류를 사용하여야 한다. 따라서 Mash seam용접은 기밀을 목적으로 하는 캔의 용접이나 파이프 제조 또는 제철라인에서의 코일이유 등에 이용되고 있다.

III. 인버터 Mash seam 용접 시스템 설계

1. 전체시스템의 구성

제안하는 인버터 시스템의 전체 구성도를 그림 2에 나타낸다. 제안하는 용접기는 사이리스터 컨버터와 IGBT 인버터 스택 그리고 메인 변압기를 통한 2차 다이오드 정류기 스택으로 구성되며 이들 소자의 정격은 1200 V/600 A 이다. 입력 사이리스터 정류기는 위상제어를 하여 전압조정을 하도록 하였다. 가변 DC 전압을 AC로 변환하기 위해 3상 IGBT 인버터를 채용하고 인버터의 출력은 240 Hz 구동의 메인 변압기의 1차측에 연결된다. 변압기 2차측은 다이오드 정류기에 의해 DC전압으로 변환되어 정전류회로에 연결된다. 다이오드 정류기 출력전압은 용접하기 위한 두 개의 전극에 각각 인가 되도록 한다.

정전류 제어를 위해서 1차측에서 전류값을 센싱하여 정전류 제어하도록 사이리스터 컨버터에서 위상각으로 DC 링크 전압을 조절함으로써 PAM 제어를 한다. 그리고 1kHz 주파수는 인버터용 IGBT 스택을 통하여 이루어지게 한다. 메인 변압기를 통한 전력은 변압기 2차측에서 전파 정류되어 용접기의 양 전극에 DC전압을 공급하게 된다.

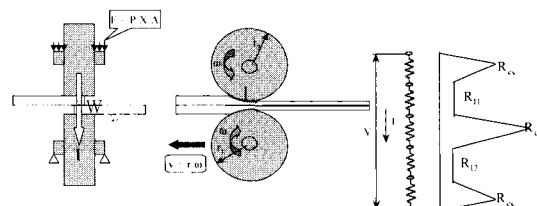


그림 1. Mash seam 용접 공정.

Fig. 1. Mash seam welding process.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 10. 13., 채택확정 : 2004. 2. 20.

이왕하 : 포항산업과학연구원(wangha@rist.re.kr)

박상국 : 위덕대학교 컴퓨터공학과(skpark@uiduk.ac.kr)

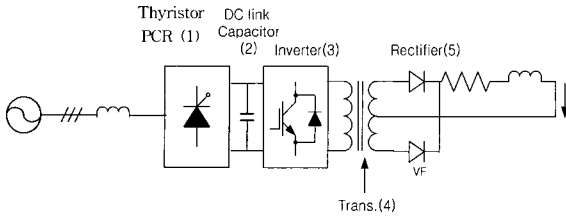


그림 2. PAM 인버터 시스템 구성도.
Fig. 2. The system diagram of a PAM inverter.

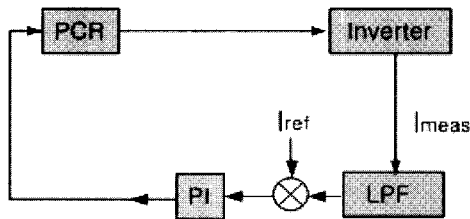


그림 3. 인버터제어 블록선도.
Fig. 3. Block diagram of an inverter controller.

2. 인버터 제어기

그림 2의 정류부와 인버터 사이의 피드백 제어를 위한 인버터 제어 블록 선도는 그림 3과 같다. 그림에서 보는바와 같이 PCR(위상제어정류기) 정류부를 거친 전압은 전류 이득기와 PAM 인버터 제어회로를 거쳐 인버터의 입력으로 전달된다. 그리고 인버터의 출력은 변압기 및 2차측 리액터를 거쳐 Mash seam 용접기의 양 전극단에 가해진다. PAM 인버터제어는 그림 3과 같이 피드백제어를 하게 된다. 즉 인버터로부터 용접부로 출력되는 평균치 전류(I_{meas})는 케환되어 저역여파기를 거치게 되고, 저역여파기의 출력전류는 기준전류(I_{ref})와 비교되어 PI제어를 거쳐서 다시 PCR 정류회로로 입력된다.

한편, 정전류 제어용 PI 전류제어기는 설정 용접전류 신호 V_{ref} 와 측정 용접전류 신호 $V_{feedback}$ 의 차에 비례상수 K_p 를 곱한 후 이를 k 스텝의 제어신호 u_k 에 더하는 것으로서, 이러한 제어기능은 CPU내부에서 디지털 제어에 의해서 수행토록 하였다. 이것을 수식으로 표현하면 (1)과 같다.

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

여기서, u_{k+1} 는 $k+1$ 스텝에서의 제어출력 신호를 나타낸다. 용접 전압과 전류의 관계는 대단히 비선형적인 특성을 가지는데, 단락·아아크 어떤 상태에 있어서도 가열은 전류에 의해 이루어진다.

3. 정류부

정류부는 인버터의 입력 전압을 일정하게 해주고, 안정된 적류 전원을 공급해주는 역할을 한다. 본 연구에서는 1차측 정류부를 고압용 사이리스터 스택으로 구성했다. 그림 4에 PAM 인버터 제어기의 정류부 블록도를 나타냈다.

사이리스터의 선정은 이상 과다 전압에 의해서 보호될 수 있도록 고려되었고, 과부하 조건 “250 %/ 30초”에서도

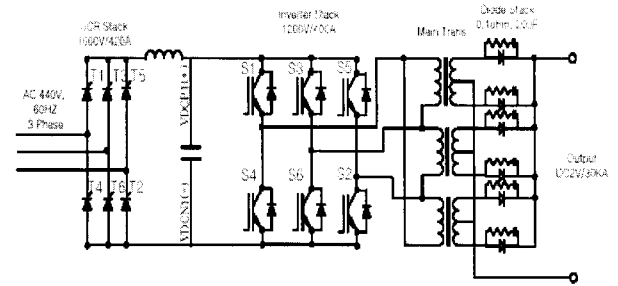


그림 4. PAM 인버터제어기의 정류부 블록도.
Fig. 4. PCR block diagram of a PAM inverter.

충분한 내량을 갖도록 선정한다. 또한 2차측 정류부 구성방식은 전파정류 회로로 구성했다. 제한하는 용접기는 기존의 사이리스터 용접기에 비하여 용접부 표면 형상은 양호하나 동일 조건의 용접 재질, 두께에서 더 높은 전류가 필요하다. 용접기의 전류는 저전압 대전류이기 때문에, 용접 변압기 T의 2차측 리액턴스에 의해 주파수가 높을수록 전류가 흐르기 어렵게 된다. 일반적으로 인버터 2차측이 교류인 경우 60 Hz때 비하여, 제어 주파수가 1 kHz 인 경우는 1/10이하로 낮게 된다. 여기서 전류 I는 교류시는 (2)와 같고, 정류시에는 (3)과 같이 된다. 식에서 E는 변압기 2차측 전압, VF는 다이오드의 순방향 전압 강하를 나타낸다.

$$I = \frac{E_2}{\sqrt{(R^2 + (2\pi fL)^2)}} \quad (2)$$

$$I = \frac{E_2 - V_F}{\sqrt{(R^2 + (2\pi fL)^2)}} \quad (3)$$

그러나 2차측을 정류한 경우에는 $f=0$ 으로 되기 때문에 1 kHz 에서도 2차측 전류 I는 그다지 떨어지지 않는다. 그 때문에 인버터 제어 방식으로 하는 경우는, 용접 변압기의 2차측을 정류할 필요가 있다. 그러나 2차측을 정류하는 경우, 정류 다이오우드 D는 순전압 강하 VF 에 의해 발열한다. 이때 발열하는 열량 H(Joule)는 $H = VF \times I \times t$ 로 되고, 전류 I가 크기 때문에 용접변압기 발열의 큰 비율을 차지한다. 따라서 정류 다이오우드 D는 순방향 전압강하 VF가 낮은 것을 선택할 필요가 있다[3,7].

4. Mash seam 용접기 제어부

기존 Mash seam에 본 연구에서 설계한 인버터 제어기를 적용하였고 이를 그림 5와 같이 구성했다. 기존의 용접 시스템에 사이리스터 정류기와 PAM인버터 제어시스템을 추가하였으며, 용접기 제어를 위한 메인 제어기로는 DSP 칩인 TMS-320을 사용했다. 이는 그림 3과 같은 피드백 제어를 하도록 설계했고, 실제 용접전류를 픽업하여 저역필터를 통과시키고, 설정치의 값을 추종하도록 설계했다. 또한 gate driver는 인버터의 전력소자를 구동시키는 역할을 한다. 그리고 다이오드 정류부를 채용하여 정전류 제어가 되게 했다. 본 연구에서는 기존의 상용 주파수용 주변압기를 활용할 수 있도록 하기 위해 인버터 제어기의 주파수를 1080 Hz로 제한하여 적용했다.

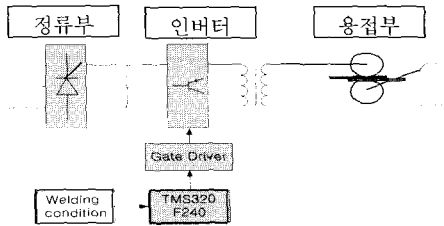


그림 5. Mash seam 용접기 제어부 시스템도.
Fig. 5. System diagram of a mash seam welder controller.

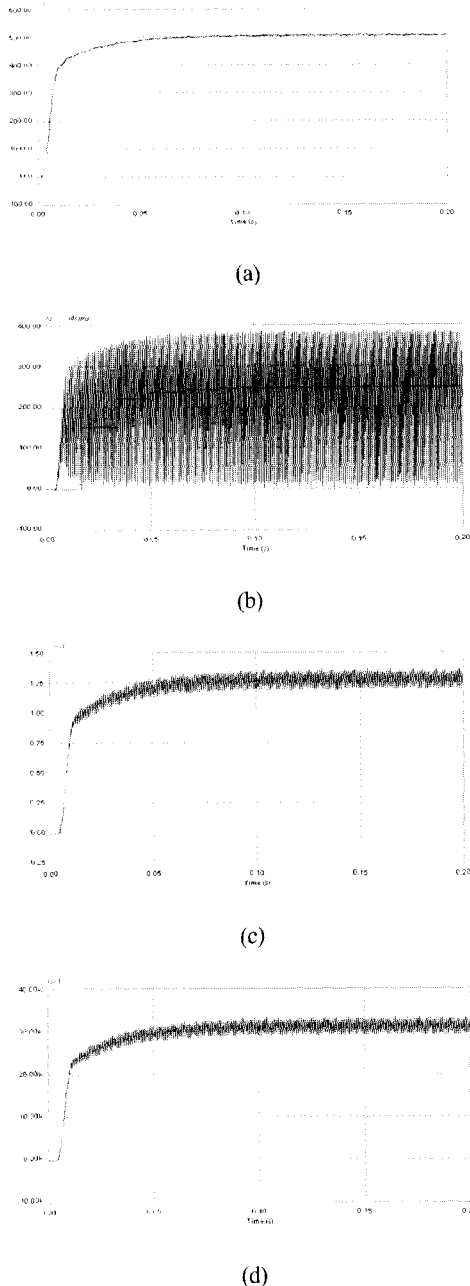
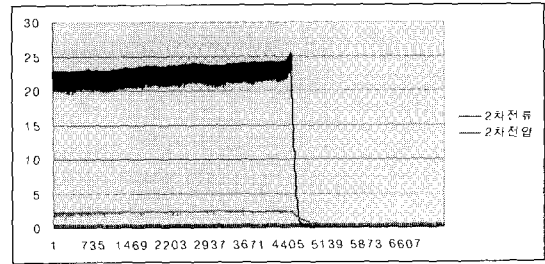
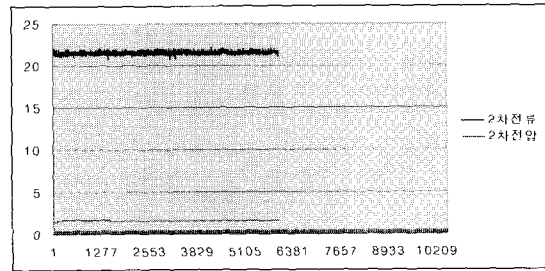


그림 6. 시뮬레이션 결과 파형[(a)입력 DC 링크 전압, (b) 입력 DC 링크 전류, (c)출력 전압, (d)출력 전류] 시스템도

Fig. 6. Simulation results[(a) input DC link voltage, (b)input DC link current, (c) output voltage, (d) output current].



(a)



(b)

그림 7. 제어기 출력전류 비교 [(a)사이리스터 출력 전류. (b) PAM 인버터 출력 전류].
Fig. 7. Measured output current[(a) thyristor output current, (b) PAM inverter output current].

IV. 결과 및 고찰

PCR용 PAM제어와 3상 인버터를 사용하여 300 kVA급 저항용접용 전원을 구현하는 제안한 방식에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 6에 도시했다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 다음과 같다. 즉, 인버터용량 : 300 kVA, 입력전압 : 440 V, 변압기 권선비 : $n = 70$, 링크회로 직류전류 : $V_d = 2.8$ kV, 링크회로 직류전압 : $V_d = 1.0976$ kV, 최종출력전류 30 kA, 최종출력전압 1.2 V이다. 그림 6에서 (a)는 인버터에 입력되는 DC 링크 전압, (b)는 입력링크 전류파형을 나타낸다. 그림에서 인버터출력 전압, 전류 파형의 주파수는 180 Hz 이다. 그리고 저항 부하로 0.4 mΩ을 사용했을 때 최종 출력 전압을 (c)에, 출력 전류를 (d)에 나타냈다. 그림에서 최종 출력전류는 30 kA에 2차 정류후 주파수는 약 1080 Hz로 출력되며 전압은 부하시 양단 전압이 거의 1.2 V 정도 출력된다. 본 논문에서 제안하는 Mash seam 용접기는 용접 중 동저항의 변화가 커지 않기 때문에 부하가 일정하다고 가정할 때 전압의 제어로 전류 제어의 효과를 얻을 수 있다.

그림 7에는 시뮬레이션 결과와 비교하기 위해 실제로 개발된 제어기의 출력전류와 전압 특성을 비교한 결과를 나타냈다. 그림에서 (a)는 기존 사이리스터 제어시의 출력전류와 전압의 측정값을 나타낸다. 제어기의 기준 전류값을 21 kA로 설정하고, 용접기의 용접진행속도가 12 mpm 일때 측정 한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 용접중 출력전류가 계속 미소하게 증가하는 특징을 보이고 있다. 이는 계속된 열부하가 전극에 저장되어 전극의 고유저항 및 접촉 저항이 감소한 영향인 듯하다. (b)는 새로 제안된 PAM 인버터 시스템의 출력전류와 전압에 대한 측정값을 나타낸다. 제어기의 기준 전류값을 21 kA로 설정하고, 용접기의 용접진행속도가

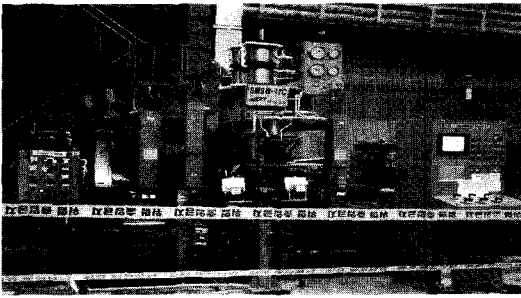


그림 8. 개발된 Mash seam 용접기의 사진.
Fig. 8. Photo of developed mash seam welder.

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

	기존 제품	개발제품
정격용량	150kVA	150kVA
형식	Mash seam	Mash seam
Output 전류형식	DC(120Hz) 3상 정류	DC(1kHz) 3상 정류
용접속도	Up to 15 m/min	Up to 15 m/min
구동방법	3상 AC servo motion control 및 ball screw	3상 AC servo motion control 및 ball screw
전극가압력	Up to 16 kN	Up to 25 kN
Over lap 조정	0-3 mm(motor control)	0.5-2 mm(servo motor)
Angle lap 조정	0-2 mm	0.5mm / 1400mm
Unclamping length		14 mm
전극 wheel size	200-320 mm	240-320 mm
Wheel 표면거칠기	75 R cutting	75 R cutting
Wheel 재료/경도	Be-Cu/HRB 93-195	Be-Cu/HRB 93-105
Planish wheel size	75 mm	100 mmφ
Planishing force	Up to 25 kN	Up to 40 kN
Clamping force	52 kN	100 kN / 110 mm stroke

12 mpm일때 측정한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 용접 중에도 일정한 전류 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 5의 제어 시스템을 적용하여 실제로 국산화 개발에 성공한 Mash seam 용접기의 사진을 그림 8에 나타냈다. 그리고 개발된 인버터 제어방식 용접기의 사양을 기존의 위상제어기와 비교해서 표 1에 나타내었다. 기존의 제품에 비해 개발된 제품은 over lab과 angle lab의 정밀조정이 가능하도록 설계되었는데 조정시 분해능은 0.5mm 간격까지 가능하다.



이 왕 하
1964년3월24일생, 1987년 경북대학교 전자(공학사). 1991년 경북대 전자(공학석사). 2004년 경북대(공학박사). 1991년~현재 포항산업과학연구원 책임연구원. 관심분야는 무효전력제어, 용접기전원, 전력전자.

V. 결론

본 논문에서는 사이리스터 컨버터를 이용한 대전력용 용접전용 PAM 인버터를 제안하였다. 연구결과로 개발된 본 방식은 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째, IGBT 인버터 방식을 사용해서 주파수를 1 kHz정도로 높임으로써 변압기의 규모를 작게 할 수 있어 경제적이다. 둘째, 기존 제어기에 비해 DSP를 이용해 제어를 함으로써 향후 PI 제어기 이외의 향상된 제어이론 적용이 용이하다. 셋째, 충분한 전력공급을 함으로써 도금강판의 용접시 선행 수작업 공정 없이 바로 용접이 가능함으로써 용접 시간단축의 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방식은 현장에 실제로 적용될 만큼 경제적인 점에 중점을 둔 것으로써, 비교적 저가로 대용량 용접용 전원의 PAM 인버터를 구성하여 용접성을 향상할 수 있으며, 현장 정비성을 고려한 최적의 방안으로써 유사한 내용량 사이리스터 컨버터용 전원에도 적용할 수 있다. 본 연구결과로 개발된 시스템은 현재 철소소 공정라인에 적용되어 운용 중에 있으며 계속적으로 기술적인 보완을 해나갈 예정이다.

참고문헌

- [1] 용접협회 경량구조합가공연구위원회편, "저항용접 현상과 그 응용 (IV)", 1993.
- [2] 安藤 伸村, 梶井 "鋼의 플라ッシュ 溶接現象の研究(第 1 報)", 溶接誌 vol. 39, no. 10, pp. 86-100, 1970.
- [3] 일본 용접협회 전기용접기부회기술위원회: 저항 spot 용접기의 최근의 발전(평성원년)
- [4] 최규하, "입력전류 제어형 고효율 인버터아크 용접 시스템의 입력 및 출력 특성연구", 전력전자학회논문지, 제5권, 제4호, pp. 358-362, 8, 2000.
- [5] 강문진, 이왕하, "인버터 제어방식의 고장력강 Flashbutt 용접기술 개발", 산업자원부, 2000.
- [6] 이왕하, 강문진, 이성희, "인버터 제어방식의 프래쉬버트 용접기술개발", 대한전기학회 하계학술대회, 2001.
- [7] inverter 기술 매뉴얼: 인버터.
- [8] 최민환, 박은희, "저항용접기의 종류와 신개발 동향", 대한용접학회지, 제5권, 제2호, 4, 1997.
- [9] 이왕하, 강문진, 김덕규, "대용량 라인 용접용 Mash seam 용접기 개발", 대한전기학회 하계학술대회, 2002.



박 상 국
1964년7월12일생, 1986년 경북대학교 전자(공학사). 1989년 경북대 전자(공학석사). 2000년 경북대(공학박사). 1989~1993:삼성전자(주). 1994~2001.2:포항산업과학연구원, 2001년3월~현재 위덕대학교 컴퓨터공학과 재직. 관심분야는 DSP, 컴퓨터네트워크.