

국산화한 Mash seam 용접기의 POSCO 냉연 라인 실적용 사례

이왕하\*, 강문진\*, 박태준\*, 김덕규\*\*  
 포항산업과학연구원\*, 경북대학교 전자컴퓨터공학부\*\*

The Development of High power Mash seam welder for strip making Line

Wang-Ha Lee\*, Mun-Jin Kang\*, Tae-Jun Park\*, Duck-Gyoo Kim\*\*  
 RIST\*, Sch. of E.E. Kyung Pook University\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 대전력 150KVA급의 mash seam 용접기에 용접 센터링등 여러 가지 용접 효율 향상을 위한 부가 장치를 포함한 용접장치 개발을 통한 용접품질 분석결과를 보이고 있다. 일반적으로 제철소에 사용되는 수100KVA급의 용접기들은 그동안 전량 수입에 의존하던 것을 공동연구를 통해서 국산화에 성공하였다. 본 시스템은 기존의 타사제품의 기능을 포함하여 용접 센터링 장치, 용접 전후단의 크래핑기능, 선후행 코일의 선단부를 절단하는 shearing 기능, 용접 휠높이 자동 조절기능을 포함하였으며, 자체 설계된 대전력용 변압기, 대전력 절환용 thyristor 제어들을 포함한 용접기로써 기존의 타사제품에 비하여 기능적, 성능적으로 향상된 형태로써 용접성능 검사에서도 양호한 결과 얻었다. 본 논문에서는 mash seam 용접기의 기본적인 기능설명과 개발된 용접기를 기능별로 설명하고, POSCO 현장 적용 결과를 간략히 소개한다

1. 서 론

(재)포항산업과학연구원 설비자동화 연구센터에서 POSCO 중장기 연구개발 전략의 일환으로 개발된 제철 라인용 mash seam 용접기는 냉간 압연된 코일을 연속적으로 열처리하거나 또는 연속적으로 도금처리하기 위해서 선행코일의 후단부와 후행코일의 선단부를 약 20초 이내에 용접하는 설비로써, 그동안 전량 수입에 의존하던 것을 이번에 국내 최초로 개발하게 되었다.

현재 POSCO 현장에서는 mash seam 용접 설비를 32대 가동중에 있으며, 각각의 설비에서 1년에 처리되는 냉연 코일의 양은 약 20,000~45,000코일에 달한다. 즉 이들 각각의 설비에서 20,000~45,000회의 용접이 이루어 지는데, 만일 1회의 용접불량이 발생되면 용접부가 끊어지게 되어 해당 연속 생산라인이 최소 8시간에서 50시간까지 중지되어 비용손실이 수억원에 달하는 엄청난 피해를 야기시킨다. 따라서 이들 모든 라인의 용접품질은 연속 생산의 생명과도 같이 중요하게 평가되고 있다. 이러한 용접품질을 만족시키는 용접기 제조 메이커는 전세계적으로 약 3개사 정도가 있는데, 이번에 POSCO에서는 약 10억원의 개발비용을 투자하여 20여년동안 현장에서 작업하였던 know-how와 RIST가 보유하고 있는 첨단 제어 기술을 접목하여 제철라인용 mash seam 용접기를 국산화하기에 이르렀다 (재)포항산업과학연구원이 개발에 성공한 mash seam 용접기로써 현장 조업기술을 바탕으로 기본 설계에 착수하여 (주)SFA와 공동으로 상세설계를 수행하였고, 용접기 본체는 (주)SFA에서 제작하였으며, 전력제어부는 PAM 인버터를 이용하여 메인 주파수를 향상하였으며 연구소 실험실에서 동작실험을 통하여 POSCO 냉연공장에 실적용하여 현장 운용중이다. 개발된 설비는 용접부위의 두께를 원래 소재두께 대비 110% 까지 감소시키는 성능을 갖추도록 하였으며, 용접부의 강도가 모재의 강도보다 더욱 강하게 하여 어떤 경우에도 용접부 파단이 발생하지 않도록 하는 기술을 적용시켰다. 또한 용접기의 이상상태를 함시 작업자에게 알려

주고, 용접기의 동작성능을 관리할 수 있는 기능이 대폭적으로 보강되어 용접품질의 변화를 일으키는 주요 발생 원인을 원천적으로 봉쇄시킬 수 있는 기능이 탑재되어 있으며 용접품질을 판정하여 용접부의 이상 상태를 작업자에게 보여주도록 하는 기능을 갖추고 있다. 또한 각종 용접조건 database를 자체 기술로 구축하여 작업자가 손쉽게 용접작업을 최적화 할 수 있도록 하므로써, 고급 강을 비롯한 고부가가치강의 생산에 적용할 수 있는 중요한 기틀을 마련하였다.

2. seam 용접기의 원리

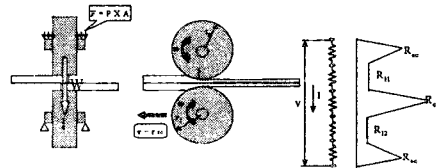


그림 1 mash seam 용접 원리

Mash seam 용접기는 제철소와 같이 연속작업을 통하여 소둔등의 작업을 연속적으로 처리하기위해서 많이 사용되는 용접기로써 두 개의 독립된 코일을 밀착시키고, 그 밀착된 강판위로 둥근 원판형태의 전극을 이용하여 상하로 통전하면 그 사이에 존재하는 두 개의 코일은 코일사이의 접촉저항을 띠게된다. 그 접촉저항의 크기에 비례하여 0.24IRt에 비례하게 입열을 발생하고, 그림 1에서 보는 것과 같이 접촉저항이 가장 큰 두 코일사이가 녹아서 두금속을 녹이고, 녹인 부분을 즉시 짓이겨서 일정한 두께로 만드는 형태의 용접기이다<sup>[2][3][4][5]</sup>

2.1 기구적인 형태

선행코일 후단과 후행코일의 전단을 용접시에 일직선으로 유지하는 coil센터링부, 용접시에 산후행 코일을 고정하는 램핑부분, 용접기를 용접선 방향으로 좌우 이동하는 구동부, 전류를 인가하는 급전점인 전극과 전극을 안정하게 유지하는 부분등으로 구별할 수 있다

2.2 일반적 저항용접 전원구조

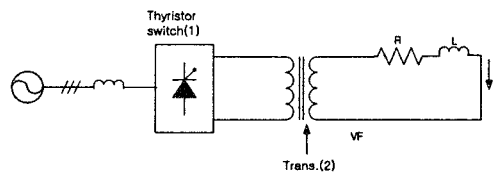


그림 2 기존 저항용접 전원방식

그림 2는 일반적인 본 시스템에 적용하는 대용량 mash seam 용접기의 전원을 보이는 것으로써, AC전원을 입력받아서 thyristor 스위치를 이용하여 필요한 전력량을 공급하기위한 위상각을 조절한 다음 변압기를 통해서 전력을 전달한다. 물론 전류 제어는 2차측 혹은 1차측에서 전류 값을 피드백하여 정전류 제어를 한다. 기존의 대부분의 대용량 용접기는 PI제어로만 사용하였다.

### 3. Mash seam 용접기의 구성 및 제어기 설계

본 연구과제의 목적은 제철라인에 많이 사용되는 mash seam 용접기의 국산화를 통한 용접기 제작 및 용접용기술의 확보에 있으며, 향후 포항제철소에 실적용하여 안정하게 용접품질을 제공하는 것을 목표로 제작되었다. 제작된 Mash seam 용접기의 크기 및 전원 정격을 포함한 기계적인 사양은 다음 표 1에서 알 수 있다.

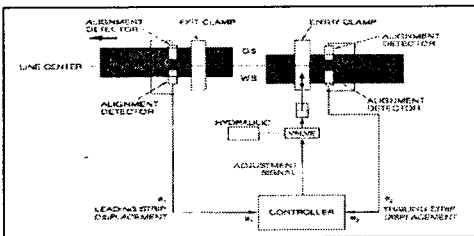
구분	사양
welding line	LINE방향에 직각방향
Line speed	240rpm
Weld capacity	0.3-2.3t/600-1700m
Weld speed/Time	Max. 15m/min/17sec
전극 기압력	Max 25KN
carrige stroke	3,000 mm
Shear cutting type/force	Dual knife/140kn
필요 space(W x L x H)	2,100 x 9,000 x 3,900 mm(-800mm F.L)
Gross adjustent	±75 mm (6sec01내)
welding rated capacity	150KVA(50% DUTY),60kHz
welding power source	THYRIST TYPE,AC-SIGLE PHASE
strip Material	극저, 저탄소강, 고장력강 및 도금강판
max strength of material	120 Kg/cm <sup>2</sup>
Strip width/thickness	600 ~ 1,750 mm / 0.35 ~ 2.3t
PLC/Motion control	MELSEC
communication	전용 PROTOCOL
servo	Melco

#### 3.1 제작된 용접기 사양

제작된 용접기의 기계적인 가압력, 속도 및 전력에 대한 전반적인 사양을 간략히 정리하면 표1과 같다

#### 3.2 코일 센터링

선행코일의 후단과 후행코일의 선단을 용접시에 중심에서 용접되도록하는 부분으로써, 원리는 선행코일의 중심을 비전 카메라를 이용하여 계산하여 확인한 다음 후행코일의 중심을 역시 카메라로 계산하여 일치하도록 유압실린더로 후행코일을 좌우로 이동하여 맞추는 시스템이다



#### 3.3 정전류 제어기

그림 3은 일반적인 저항용접기의 회로 모델링한 것을 보이고 있다.

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

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

(단,  $R_T$ : 변압기 권선저항,  $L_T$ : 변압기 인덕턴스)

여기서 변압기 1차전압  $v_T(t) = V_c S_{INV}(t)$ , 정류 회로의 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 단락

전류 및 단락이 떨어져 아아크가 발생한 때의 아아크 전류는 다음과 같은 식에 의해서 계산될 수 있다<sup>[1]</sup>.

i) 단락시의 전류

단락시는 그림3(a)에 나타낸 회로에서 스위치를 닫은 것에 상당하고, 흐르는 전류는 다음식으로 주어진다.

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

단, 전원전압은  $v_R = V_R m \sin(\omega t + a)$ 로 되고,  $t=0$ 의 순간에 단락이 일어난 것으로 하고,  $a$ 는 그 때의 전원전압의 위상각,  $\phi$ 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 그림3(a)에 나타낸 회로에서 스위치 S를 open한 것에 상당한다. 이 스위치 S의 양단에 발생하는 아아크전압을  $v_a$ 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.

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

단, 아아크는  $t=0$ 인 순간에 발생하고,  $a'$ 는 그 때의 전원전압의 위상각으로서  $a' > \phi$ 라 가정하고, 더욱이  $t=0$ 의 전류는 정방향으로 흐른다고 가정하고 있다. 또한 윗식은  $i=0$ 인 지점에서 아아크는 소실하고 이후는 성립하지 않는다.<sup>[2]</sup>

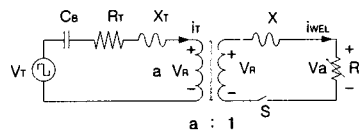


그림 3 (a) mash seam 시스템 모델링

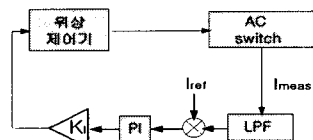


그림 3 (b) mash seam 제어기

#### 4. Mash seam 현장 설치 및 용접 실험 결과

##### 4.1 현장 적용

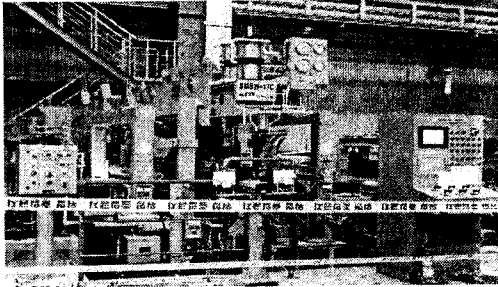


그림 4 실적용 사진(POSCO 2냉연)

상기 용접기는 현재 POSCO 냉연 공장 CSL 라인에 적용하여 4.30일부터 안정적으로 운용중이며, 기존 용접기에 비하여 원격으로 자동 용접함으로써, 작업자의 부하를 경감하고 있으며, 향후 일정기간 안정적인 운용결과에 따라 (약 600mpm) 정도의 고속라인에 적용됨으로써 기존의 Mash seam 용접기를 대체할 수 있는 방향을 마련하였다<sup>[3,4]</sup>.

##### 4.2 용접 품질



그림 5 용접부 에릭션 테스트 결과

용접 결과 기존 사이리스터 방식에 비하여 용접부가 우수한 것을 확인할 수 있었으나, 같은 재질의 같은 두께인 경우 용접 전류가 높게 2차적 정류 다이오드의 턴온 전압으로 인해서 전류가 높게 설정되어야 하는 것을 확인할 수 있었다

##### 4.3 용접중 전류 및 전압

그림 6은 기존 사이리스터 스위치 파형이고, 그림 7은 본 시스템 파형을 보이고 있다. 그림 6에서 전류 파형은 설정 전류 24 KA 일 때 용접 중의 전류 파형을 검출한 것으로서 용접중에 일정하게 용접 초기에 비해 약간 상승되는 값을 보이고, 전압값도 약 2.3V 정도를 보인데, 그림 7에서는 미소한 전류 리플값을 제외하고 전류 값이 21kA를 설정시 거의 일정하게 나타나고, 전압값도 거의 1.5V규모로 낮게 유지되는 것을 확인할 수 있었다<sup>[4]</sup>.

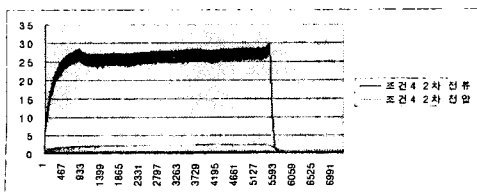


그림 6 기존 전원의 전류/전압파형

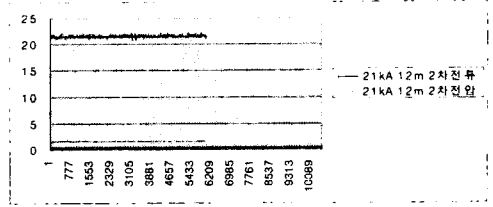


그림 7 본 시스템의 전류 /전압파형

#### 5. 결론

본 논문에서는 종래의 전량 수입에 의존하던 대전력 용 Mash seam 용접기를 자체제작하고, POSCO 현장에 실적용하여 우수한 결과 나타내고 있는 것을 확인했다. 기존의 타사 제품에 비하여 전원부 및 기계부등 첨단 기능을 적용하면서도 용접속도 향상과 얇은 두께비를 유지함으로써 후속 압연 작업시 롤손상 저하의 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 향후 현장에서 안정적인 작업 수행능력을 확인하는 과정을 통해서 충분한 신뢰성을 인정받으면 POSCO 등 유사 연속 제철라인에 확대 적용할 예정이다

##### [참고 문헌]

- [1] 최규하, "입력전류 제어형 고효율 인버터아크 용접 시스템의 입력 및 출력 특성연구", 전력전자학회논문지, 제5권, 제4호, pp 358, 8월, 2000년
- [2] 용접학회 경량구조조합가공연구위원회편, "저항용접현상과 그응용 (IV)", 1993년
- [3] 강문진 외 3명 "STS Mash seam 용접설비 성능진단 기술 개발" 포항제철과제보고서, 1997
- [4] 이 왕하, 강문진 "Mash seam 인버터 전원개발" RIST 자율과제 보고서, 2003
- [5] 이 왕하, 박 상국 외 1명 "인버터 제어방식을 이용한 Flash butt 용접기의 용접 성능 향상"조명학회 논문지, Vol 17, No.1, pp 45-53, 1월, 2003년