

대용량 라인용접용 Mash seam 용접기개발

이왕하*, 강문진*, 김종근*, 박태준*, 김덕규**

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

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

Abstract - 본 논문에서는 단상 thyristor 정류기 구조의 대전력 150KVA급의 mash seam 용접기에 용접 센터링 등 여러 가지 용접 효율 향상을 위한 부가 장치를 포함한 용접장치 개발을 통한 용접품질 분석결과를 보이고 있다. 일반적으로 제철소에 사용되는 수10KVA급의 용접기들은 그동안 전량 수입에 의존하던 것을 공동연구를 통해서 국산화에 성공하였다. 본 시스템은 기존의 타사제품의 기능을 포함하여 용접 센터링 장치, 용접 전후단의 크럼핑기능, 선후행 코일의 선단부를 절단하는 shearing 기능, 용접 활높이 자동조절기능을 포함하였으며, 자체 설계된 대전력용 변압기, 대전력 절환용 thyristor 제어들을 포함한 용접기로써 기존의 타사제품에 비하여 기능적, 성능적으로 향상된 형태로써 용접 성능 검사에서도 양호한 결과 얻었다. 본 논문에서는 mash seam 용접기의 기본적인 기능설명과 개발된 용접기를 기능별로 설명하고, 실용접 결과를 소개하며 향후 계획을 제시한다

1년 8개월만에 개발하였다. 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 항시 작업자에게 알려주고, 용접기의 동작성능을 관리할 수 있는 기능이 대폭적으로 보강되어 용접품질의 변화를 일으키는 주요 발생원인을 원천적으로 봉쇄시킬 수 있는 기능이 탑재되어 있으며 용접품질을 판정하여 용접부의 이상상태를 작업자에게 보여주도록 하는 기능을 갖추고 있다. 또한 각종 및 용접조건 database를 자체 기술로 구축하여 작업자가 손쉽게 용접작업을 최적화 할 수 있도록 하므로써, 고급강을 비롯한 고부가가치의 생산에 적용할 수 있는 중요한 기틀을 마련하였다.

1. 서 론

(재)포항산업과학연구원 설비자동화 연구센터(센터장 김종근)에서 POSCO 중장기 연구개발 전략의 일환으로 개발된 제철라인용 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 첨단제어기술을 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 RIST와 (주)웰테크에서 공동 개발하여 연구시작으로부터

2. seam 용접기의 원리

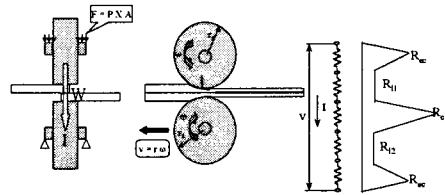


그림 1 mash seam 용접 원리

Mash seam 용접기는 제철소와같이 연속작업을 통하여 소둔드등의 작업을 연속적으로 처리하기위해서 많이 사용되는 용접기로써 두 개의 독립된 코일을 밀착시키고, 그 밀착된 강판위로 둥근 원판형태의 전극을 이용하여 상하로 통전하게되면 그 사이에 존재하는 두 개의 코일은 코일사이의 접촉저항을 띠게된다. 그 접촉저항의 크기에 비례하여 0.241Rt에 비례하게 입열을 발생하고, 그림 1에서보는 것과 같이 접촉저항이 가장 큰 두 코일사이가 녹아서 두금속을 녹이고, 녹인 부분을 즉시 짓이겨서 일정한 두께로 만드는 형태의 용접기이다.¹⁷⁾¹⁹⁾

2.1 기구적인 형태

선행코일 후단과 과 후행코일의 전단을 용접시에 일직선으로 유지하는 coil센터링부, 용접시에 선후행 코일을 고정하는 클럼핑부, 용접기를 용접선 방향으로 좌우이동하는 구동부, 전류를 인가하는 급전점인 전극과 전극을 안정하게 유지하는 부분등으로 구별할 수 있다

2.2 일반적인 전원구조

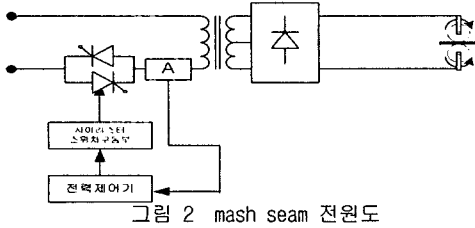


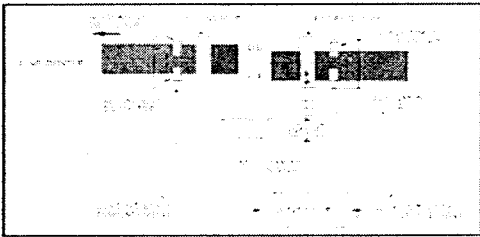
그림 2 mash seam 전원도

그림 2는 일반적인 대용량 mashseam 용접기의 전원을 보이는 것으로서 AC전원을 입력받아서 1차측 혹은 2차측의 전류를 피이드백 받아서 thyristor의 점화각을 조정하여 정전류 제어를 한다.

그중의 대부분의 대용량 용접기는 PI제어로만 사용하였다.

2.3 코일 센터링

선행코일의 후단과 후행코일의 선단을 용접시에 중심에서 용접되도록 하는 부분으로써, 원리는 선행코일의 중심을 비전 카메라를 이용하여 계산하여 확인한다음 후행코일의 중심을 역시 카메라로 계산하여 일치하도록 유입실린더로 후행코일을 좌우로 이동하여 맞추는 시스템이다



3. Mash seam 용접기의 구성 및 제어기 설계

전술한 바와같이 Mash seam 용접기의 전경은 그림1도에 나타내었으며, 기기의 신뢰성과 기능 시험을위해서 당면연구소의 pilot plant에 설치된 모습이다. 본 연구과제의 목적은 제철라인에 많이사용되는 mash seam 용접기의 국산화를 통한 용접기 제작 및 용접운용기술의 확보에 있으며, 향후 포함제철소에 실적용하여 안정하게 용접품질을 제공하는 것을 목표로 제작되었다. 제작된 Mash seam 용접기의 크기 및 전원 정격을 포함한 기계적인 사양은 다음표 표 1에서 알 수 있다.

3.1 제작된 용접기 사양

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

3.2 정전류 제어기

그림 3은 일반적인 저항용접기의 회로 모델링한 것을 보이고 있다.

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

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

구분	사양
welding line	LINE방향에 직각방향
Line speed	240m/m
Weld capacity	0.3-2.31/600-1700m
Weld speed/Time	Max. 15m/min/17sec
정크 가압력	Max 25Kn
carriage 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(-800ms F.L)
Cross adjustment	±75 mm (6sec01나)
welding rated capacity	150KVA(50% DUTY), 60Khz
welding power source	THYRIST TYPE, AC-SINGLE PHASE
strip Material	극저, 저탄소강, 고강력강 및 도금강판
max strength of material	120 Kg/mm ²
Strip width/thickness	600 ~ 1,750 mm / 0.35 ~ 2.3t
PLC/Motion control	MELSEC
communication	전용 PROTOCOL
serve	Meico

(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 단락

전류 및 단락이 떨어져 아아크가 발생한 때의 아아크 전류는 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=0의 순간에 단락이 일어난 것으로 하고, α 는 그 때의 전원 전압의 위상각, ϕ 는 역률각을 나타낸다. 또한 I_m 은 단락정상전류의 파고치, T는 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_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.

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

단, 아아크는 t=0인 순간에 발생하고, α' 는 그 때의 전

원전압의 위상각으로서 $\alpha' > \phi$ 라 가정하고, 더욱이 $t=0$ 의 전류는 정방향으로 흐른다고 가정하고 있다. 또한 컷 식은 $i=0$ 인 지점에서 아아크는 소실하고 이후는 성립하지 않는다.¹⁶⁾

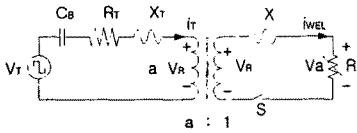


그림 3 (a) mash seam 시스템 모델링

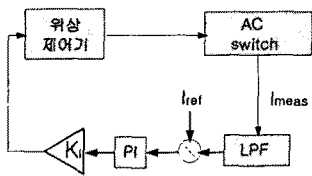


그림 3 (b) mash seam 제어기

4. Mash seam 용접기 동작 test

4.1 코일 센터링

에어리어 스캔 카메라를 사용하여 코일의 폭을 측정 한 후 두 코일의 중심을 맞출 경우 우선 라인 스캔 카메라를 사용하는 경우와 비교할 경우 고속의 계산이 불가능하다는 것이 첫 번째 단점이다. 즉, 이는 라인 스캔 카메라는 그것의 출력되는 정보의 양이 1차원적이기 때문에 똑같은 시간이라도 에어리어 스캔 카메라보다도 많은 양의 정보를 전달할 수 있으며, 카메라의 출력은 생산 회사마다 다르지만 비교적 출력되는 초당 프레임 수가 상당히 높은 편이다. 또한 라인 스캔 카메라는 에어리스 스캔 카메라 보다 해상도 높으며, 일반적인 라인 스캔 카메라는 1024 비트 혹은 2048 비트를 사용하고 있다. 만약 더 높은 정밀도를 요구할 경우는 고해상도의 카메라를 사용할 수도 있다. 그러나 카메라의 영상을 모니터링 할 필요성이 있을 경우 라인 스캔 카메라의 경우는 하드웨어적으로 다소 어려움이 있으며, 또한 설치 운용하는데 비용이 많이 소요되는 것이 현실이다.

일반적으로 사용되고 있는 에어리어 스캔 카메라는 국내에서 다수 사용되는 흑백 카메라의 경우는 RS-170 표준 카메라를 사용하고, 컬러 카메라의 경우는 NTSC 표준 카메라를 사용하고 있으며, 그 규격이 30 프레임/초로 규정이 되어 있으므로 30 프레임을 실시간으로 처리하더라도 이보다 고속의 영상처리를 요하는 작업에는 적용할 수 없는 문제점이 존재하게 된다. 그러나 에어리어 스캔 카메라의 경우는 카메라의 출력을 분기하여 모니터링만 연결하면 바로 출력 영상을 모니터링 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

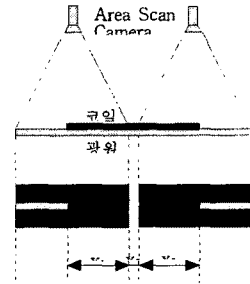


그림 4 에어리스 스캔 카메라의 측정 방법

따라서 적용하는 분야에 따라서 알맞은 카메라를 선정하여야 하며, 본 논문에서 적용할 시스템에서는 냉연 연속라인에 들어오는 코일 용접부에서 선행코일과 후행코일의 중심을 일치시키는 작업이 라인스캔 카메라를 사용하여 할만큼의 고속작업을 요구하지는 않으므로 에어리어 스캔 카메라를 사용하였으며, 기본적인 원리는 라인 스캔 카메라를 사용했을 경우와 동일하지만 라인 스캔 카메라를 사용할 경우의 해상도를 유지하기 위하여 코일의 중앙부에서 좌·우측의 중앙부에 각각 하나씩 카메라를 설치하여 해상도를 2~3배정도 높였다. 그림 4는 에어리어 스캔 카메라를 사용하여 코일의 폭을 측정하는 방법이다. 시스템 초기 설치시 영상의 가로축에 따른 코일의 길이 정보를 획득하여 두고서 각 카메라 당 코일의 에지(edge)를 검출하여 구한 폭(X_1 , X_3)와 좌·우측에서 고려되지 못하는 코일의 가운데 부분의 오프셋(X_2)을 더하여 코일의 폭을 계산한다. 즉, 코일의 폭은 $X_1+X_2+X_3$ 로 얻어질 수 있다. 그림 5는 실제로 센터링부분의 개념도이다.¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁸⁾

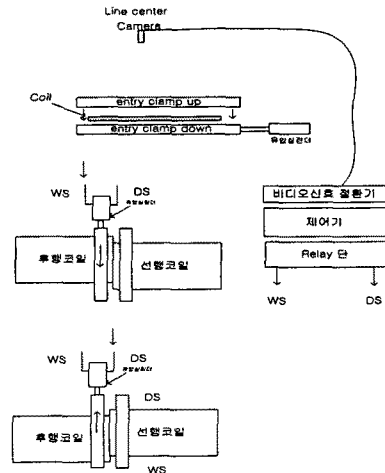


그림 5 에어리스 스캔 카메라의 측정 방법

아래의 사진1은 동일한 폭의 코일을 고의로 100mm 정도의 편차를 두고 코일 센터링 시스템 가동후 얻은 결과이다. 양끝단이 오차 1mm 이내로 센터링하는 것을 확인할 수 있었다. [11]

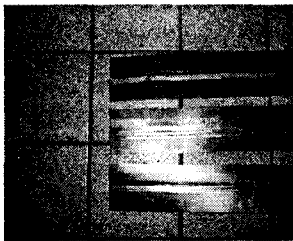


사진1 센터링 결과물

4.2 용접 품질



사진 2. 용접부 상부 표면

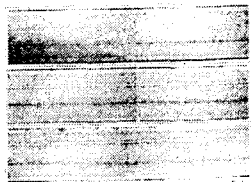


사진 3 판폭부 단면 사진

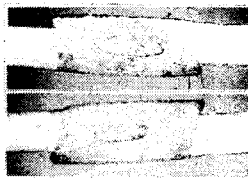


사진 4 길이 방향 단면

상기 그림들은 본 용접기들을 이용한 실제 용접 결과를 보이고 있다. 용접상부 표면상태 사진 2와 폭방향 사진3, 길이방향 사진4 에서도 양호한 결과를 보이고 있다. 한편 용접부의 용접성을 확인하기 위한 에릭슨 테스트도 하였다

4.3 용접중 전류 및 전압

그림 6은 용접중의 전류, 그림 7은 전압파형을 보이고 있다. 그림6에서 전류 파형은 설정 전류 24 KA 일 때 용접 중의 전류 파형을 검출한 것으로써 용접중에 일정하게 용접 초기에 약간 상승되는값을 보이다가, DS 부분에서 용융개시되는 순간부터 전류는 약간 감소하는 형태로 나타난다. 그림 7은 운전중에 양전극사이의 전압을 측정한 것으로써, 용접중 전압신호들은 아아크 발생시 매우 급격한 변화를 보이고 있으나, LPF 출력을 통하여 전압이 통전중에 거의 일정하게 2.3V 정도를 유지함을 확인할 수 있다.

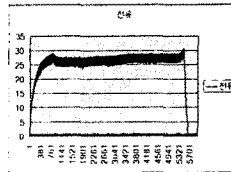


그림 6 용접중의 전류파형

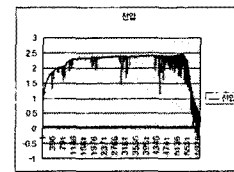


그림 7 용접중의 전압 파형

5. 결론

본 논문에서는 종래의 전량 수입에 의존하던 대전력용 thyristor 스위치방식의 Mash seam 용접기를 제작하고, 기본적인 용접 실험한 결과를 보였다. 실용적 실험에서 양호한 결과를 얻었으며, 향후 제철소에 적용되기 전까지 전력부의 성능개선 작업과 다양한 제어기의 적용을 통한 용접 품질향상에 대한 연구를 수행할 예정이다. 한편, 전력소자의 발달로 대전력 고속 스위칭 소자를 이용하여 상용 주파수보다 높게 전력제어를 하여 용접 제어효율을 향상하여 용접품질을 개선하는 방향으로 연구를 진행할 예정이다

(참 고 문 헌)

- [1] S. Chen and J. Weng, "Calibration for peripheral attenuation in intensity images," in *Proc. First IEEE International Conference on Image Processing*, Austin, Texas, pp. 992-996, Nov. 13-16, 1994.
- [2] J. Weng, P. Cohen and M. Herniou, "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 10, Oct. 1992.
- [3] John C. Russ, "The Image Processing Handbook", *Materials Science and Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina*, 1992.
- [4] D. H. Ballard and C. M. Brown. *Computer Vision*, Prentice Hall, 1982.
- [5] Cognex, *MVS-8000 Family H/W Manual and OMI S/W Library Manual*.
- [6] 최규하, "입력전류 제어형 고효율 인버터아크 용접 시스템의 입력 및 출력 특성연구", *전력전자학회논문지*, 제5권, 제 4호, pp 358, 8월, 2000년
- [7] 용접학회 경량구조조합가공연구위원회편, "저항용접 현상과 응용 (IV)", 1993년
- [8] 이 왕하, 배효정, "2년연 입측 코일 센터링을 위한 비전시스템 개발", *포항제철과제보고서*, 1999
- [9] 강문진 외 3명 " STS Mash seam 용접설비 성능진단 기술 개발" *포항제철과제보고서*, 1997