

망간크로싱과 레일의 플래시버트 용접 기술 개발

Joint technology between Manganese crossing and rail

by Flash Butt Welding

권호진* 김순철** 최인석*** 이보영****
Kwon, Ho-Jin Kim, Soon-Chul Choi, In-Suk Lee, Bo-Young

ABSTRACT

In order to develop domestic railway technology, it is necessary that manufacturing technology of turnout should be kept up with update level, because turnout is the core component of high speed railway. Manganese crossing made of high manganese alloy steel is a important component of turnout. So far, this could not have been welded with rail steel due to metallic problem in Korea.

However, joint technology hereunder between manganese crossing and rail by using Flash Butt Welding which is developed by Kangwon Railtech Co., Ltd is the state of the art and enable to realize rail continuousness in turnout section, speed up train velocity, reduce maintenance cost, and enhance riding quality.

1. 서론

철도가 국민으로부터 도로라는 교통수단보다 호평 받고 고속철도 건설 등 철도 시장의 확대가 가능할 수 있었던 것은 철도 산업의 무한한 성장 잠재력을 철도인들이 지속적인 기술 개발을 통하여 헌신적으로 노력해 왔기 때문이다. 철도 분기기는 철도 궤도의 중요한 핵심 기술 중의 하나로서 국내 철도산업 발전과 보조를 같이 하여 왔고 꾸준한 신기술 개발을 통해 지속적으로 성장해왔다. 금번 분기기 내에서의 망간크로싱과 레일을 용접할 수 있는 특수 플래시버트 용접 기술 개발을 통하여 속도 향상의 최대 장애물인 망간크로싱 주변의 이음매 구간을 제거하고 분기기 장대화를 실현하였다. 철도 선진국에서도 활용하고 있는 최신의 망간크로싱과 레일의 용접 기술 개발로 선진국 수준의 기술 보유에 자부심을 갖고 용접 기술을 소개하고자 한다.

2. 레일 플래시 버트 용접

2.1 용접 원리

레일의 전기 저항 발열을 열원으로 하여 접합부를 형성시키는 저항 용접에 있어서 대표적인 맞대기 용접이다. 용접하려고 하는 2개의 레일 단면을 연마하여 형상을 맞춘 후에 가볍게 접촉시켜두고 대전류를 통하여 레일을 접촉시켰다 분리시켰다 반복하면서 레일 단면부의 접촉점에서 전기 저항에 의한 플래시가 발생하면서 온도가 상승한다. 계속하여 레일 단면부를 이동시키고 전류를 단속시키면서 가열을 계속한다. 최후 공정에서는 레일 접촉 단면부의 이동량을 증가시키고 동시에 전류도 증대시키면 지속적 플래시에 의하여 단면이 완전히 용융 상태로 되는데 이 때에 전류를 끊고 단숨에 충격적인 가압으로 밀어서 이것을 압접한다.

*권호진 (주)강원레일테크 오송공장 생산팀 생산기술과장, 비회원

**김순철 (주)강원레일테크 기술연구소장, 정회원

***최인석 (주)강원레일테크 오송공장 생산팀 금속엔지니어, 비회원

****이보영 항공대학교 기계공학부 교수, 공학박사, 정회원

이 때 최후 공정에서 발생시키는 지속적 플래시는 용접 단면에 다량의 금속 증기를 발생시켜 용접 단면에서의 외부 공기의 혼입으로 인한 산화와 비금속 개재물의 생성을 방지하게 한다.

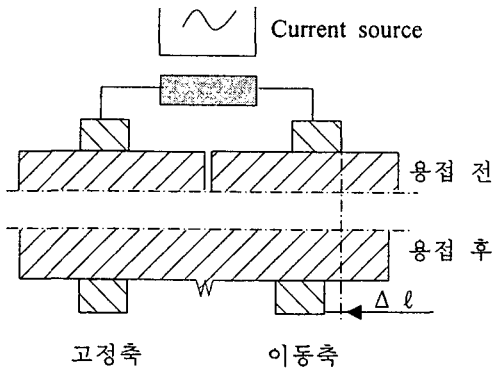


그림 1. 플래시버트 용접 원리

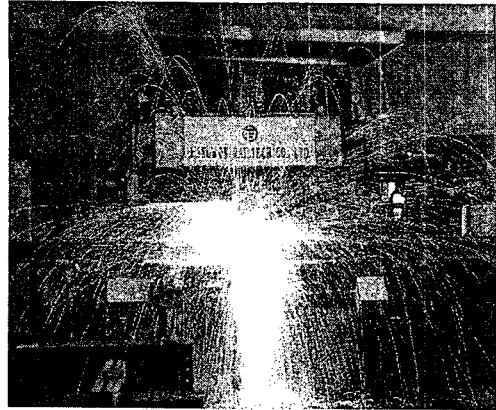


그림 2. 플래시버트 용접 실제 모습(사진)

2.2 특징

플래시 버트 용접법과 타 용접법과의 가장 큰 차이는 용접 방법이 비교적 자동화되어 있으며, 고전류에 의한 순간 고온 가열 용접이므로 짧은 용접 시간에 따른 HAZ(Heat Affected Zone, 열영향부)가 좁아 결점을 최소화하였고, 예열 및 후열처리가 불필요하며 용접시 모재를 레일 자체로 사용하므로 추가 금속이 소요되지 않는다. 그러므로 플래시 버트 용접은 안정화된 프로세스를 바탕으로 용접 신뢰도가 높으며 품질이 우수하다.

용접 시간은 1분~3분 정도로 레일의 단면적, 재질, 설비에 따라 다르며 타 용접에 비해 빠르다. 유럽에서는 공장 용접으로서 가장 일반적인 용접법이며 우리나라는 고속철도의 UIC60 레일 용접에 적용하고 있다. 낮은 2차 전압(4V~7V)을 가진 대전류(30KA~80KA)를 열원으로 하며, 업셋팅 거리는 약 12mm~18mm, 업셋팅 힘은 약 60tf~120tf이다.

일본에서 장대레일 채용한 주요 간선에 있어서 12.5년간(1964.10 - 1977.03) 용접이음 부설부에 대한 1000개소당의 년 평균 손상율은 플래시버트 용접 0.015, 가스압접 0.038, 엔크로즈 아크용접 0.32, 테르밋-용접이 2.00으로서 이들의 용접법 가운데 플래시 버트 용접이 가장 손상율이 적었다.

표 1. 각 용접법의 일반적 특징

항 목	플래시버트 용접	테르밋용접	가스용접
용접 방법	자동	수동	수동
인적 의존도	낮음	높음	높음
불량 발생 확률	매우 낮음	보통	보통
품질 신뢰도	높음	낮다	낮다
용접 시간	짧다	길다	길다
정렬 방법	자동	수동	수동
설비 기동성	좋음(자주식)	좋음	보통
장비 및 가격	대형, 고가	경량, 저가	보통, 중가

2.3 플래시 버트 용접의 예열 방법

레일의 예열은 전류를 이용한 플래시 발생에 의한 발열과 전류 통전에 의한 발열 방식이 사용되고 있다. 플래시 버트 용접의 중요한 용접기술 중에 하나는 좁은 열영향부를 가진 우수한 용접 품질을 얻기 위하여 레일을 빨리 가열하여 최단 시간 안에 용접을 마무리하는 방법이다.

플래시 버트 용접 방법들 중에서도 예열 방법에 따라 자체의 품질이 달라지며 현재까지 아래와 같은 4가지 방법이 있다.

1) 통전예열 방식

접합면을 접촉시켜 여기에 대전류를 흐르게 하여 접촉면에서의 저항 발열을 이용하는 방법으로서 가열은 빨리 이루어지나 대전류가 필요하므로 용접기 용량이 대형화가 필요하며 장비가 고가이고 공장 정치식으로 주로 사용되며 구형 방식이다.

2) 단속 플래시 방식(Intermittent flashing)

일정한 간격으로 플래시의 발생을 반복하여 상당한 시간에 걸쳐 가열하는 방법이다.

3) 연속 플래시 방식(Continuous flashing)

소전류를 길게 연속한 플래시를 발생시켜 가열하는 방법으로서 동일 전력 용량에 비해 예열 효율이 높다.

4) 펄스 플래시 방식(Pulse flashing)

용접 레일 접합부에 효과적인 전류 펄스 유지 시스템을 갖춰 낮은 전기 용량으로 최고의 전류 플래시를 발생 유지시키는 최신 용접법이다. 용접 시간이 단축되고 HAZ도 다른 용접 방법에 비해 좁고 기계적 성질도 우수하다. 강원레일테크의 E.O Paton K924 모델이 이 방식을 채택하였다.

3. 망간 용접에 사용되는 KRT의 플래시 버트 용접

3.1 용접기 제원

- 1) Maker 및 모델명 : E.O Paton(우크라이나), K924
- 2) 주전원 : 440V
- 3) 정격 전력 : 300KVA
- 4) Maximum clamping force : 3000KN
- 5) Maximum upsetting force : 1200KN
- 6) Movable column stroke : 90mm
- 7) Horizontal & Vertical alignment range : ± 10 mm
- 8) Maximum welding cross-section : 15,000mm²

3.2 도입 시기 : 2002년 2월

3.3 양산 착수 : 2002년 10월

3.4 현재 납품처 : 한국고속철도, 철도청, 대구지하철, 대만

3.5 용접 시스템 설명

용접 조건을 위한 전압, 전류, 거리, 속도, Force, 시간 등으로 구성된 Parameter를 컴퓨터의 용접 Program에 입력하고 작동하면 PLC와의 신호 전달에 의해 용접이 자동적으로 진행되는데 이때 전압, 전류, 거리(속도), 압력 및 시간 등 5개의 Data가 용접 시작부터 완료시까지 자동적으로 용접 공정이 진행되어지도록 한다.

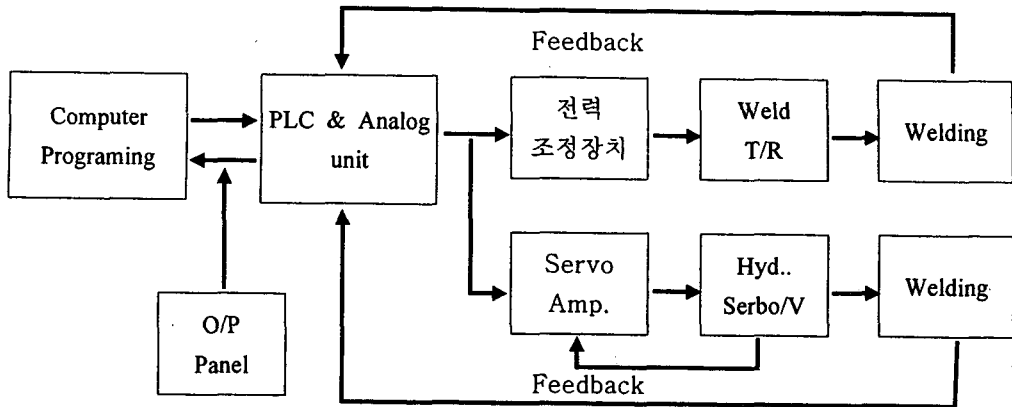


그림 3. 플래시버트 용접 프로세스

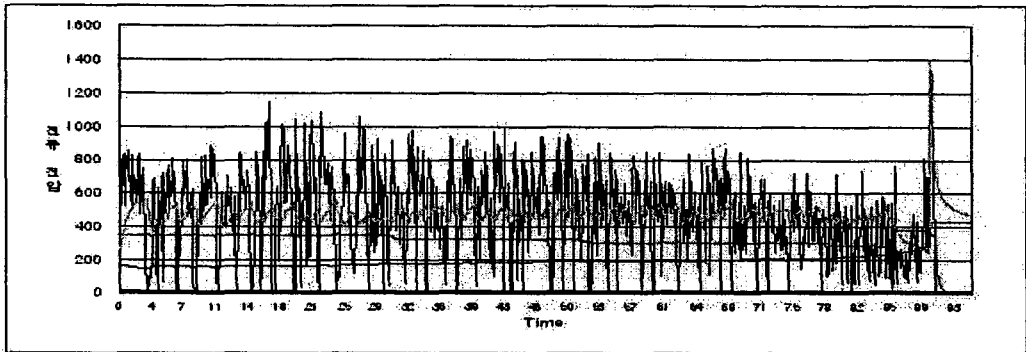


그림 4. 용접 후 Output data(시간, 전류, 전압, 거리, 압력)

3.6 용접기 가열 방식 및 용접 품질

KRT의 용접기는 용접기 내에서의 임피던스를 획기적으로 낮춤으로서 기존의 단속 플래시 방식(Intermittent flashing) 또는 연속적 예열 방식(continuous flashing)에서 펄스 플래시 방식(Pulse flashing)으로 전환 가능하게 하였다. 펄스 예열 방식은 주 전원에서 용접 레일까지의 열원(熱源)인 전류 전달 효율을 극대화함으로써 용접 Process를 효과적으로 feedback하여 조정하고 용접 프로그램이 더 정확하게 용접 과정에 전달되도록 하여 용접 품질 안정화를 이루게 되었다. 이 방식은 ① 용접 레일 단면을 균일하게 가열하게 하고 ② 낮은 임피던스 상태에서 안정적인 낮은 전압으로 용접 가능하게 하여 플래시 발생시 단면의 Crater를 작게 함으로서 결함 발생을 억제하며 ③ 용접 레일 절단면의 직각도 또는 사상과 관계없이 안정적 레일 예열 및 플래시를 발생시키는 장점이 있다.

4. 망간크로싱과 레일 용접

4.1 용접 원리

레일과 망간크로싱은 이종 재질로 인한 각각의 물성 특성이 달라 완전한 용접이 불가능하므로 특수합금강을 중간 매개체로 활용하여 연결 용접한다.

4.2 용접 제작 공정 순서

- 1) 적당한 길이의 레일과 특수 합금강을 준비한 후 각각의 용접 단면 및 전극 접촉부를 세척제와 그라인더로 깨끗이 청소하여 이물질, 녹을 제거한다.
- 2) 용접기 테이블 위에서 Profile이 일치되도록 상하, 좌우를 정렬하고 1차 용접을 한다.

- 3) 특수합금강을 적당한 길이로 절단하고 용접부 주위 Burr를 가공과 사상으로 제거한다.
- 4) 절단된 특수합금강과 망간크로싱의 용접 단면 및 전극 접촉부를 세척제와 그라인더로 깨끗이 청소하여 이물질, 녹을 제거한다.
- 5) 용접기 테이블 위에서 Profile이 일치되도록 상하, 좌우를 정렬하고 2차 용접을 한다.
- 6) 용접부 주위 Burr를 가공과 사상으로 제거한다.
- 7) Penetration Test(Color Check), 직진도 및 평탄도 등 검사를 실시한다.

4.3 벤딩 Test

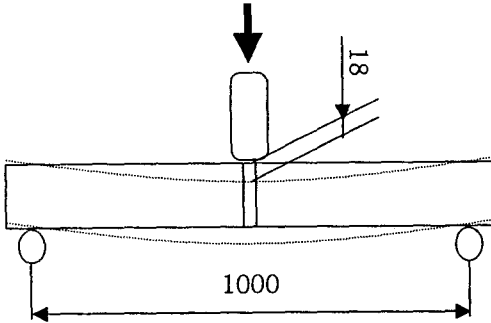


그림 5. 벤딩 Test 방법 및 기준

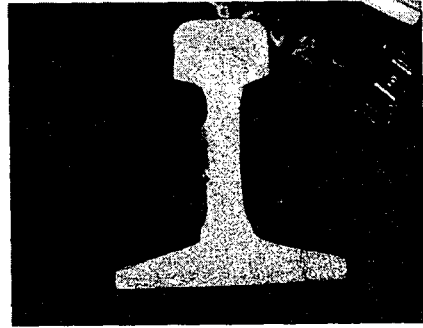


그림 6. 벤딩 Test 후 파단면 사진

4.4 조직 시험 및 경도 시험

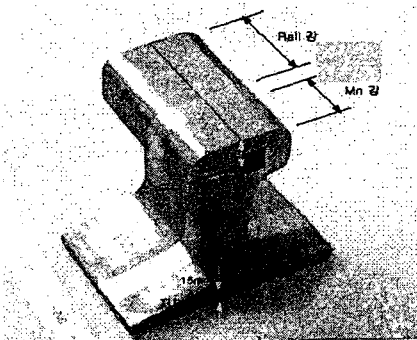


그림 8. 조직시험편 사진

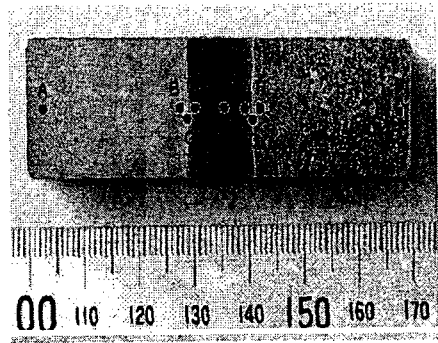


그림 9. 조직 시험편 Macro 사진

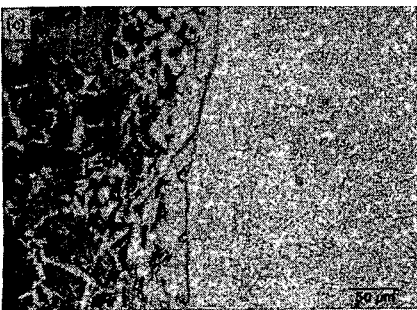


그림 10. 레일과 특수합금강 조직사진



그림 11. 특수합금강과 망간강 조직사진

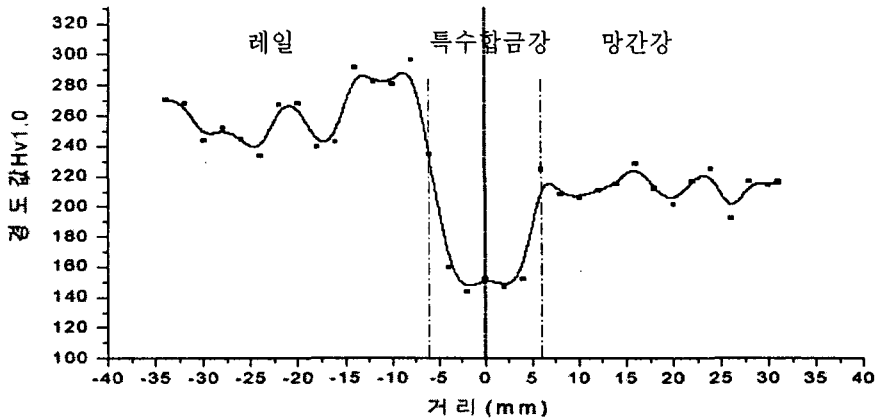


그림 12. 레일, 특수합금강, 및 망간강의 경도 분포

용접부 주변의 조직 검사를 실시한 결과 마르텐사이트 조직이 발견되지 않았으며 경도 측정 결과도 유난히 높은 곳이 발견되지 않은 것으로부터 용접 상태가 양호함을 알 수 있다.

4.5 용접부 EDS 분석

각 용접부 부근에서 합금원소의 확산량과 확산거리를 조사하고자 EDS 분석을 실시하였으며 그 분석 결과 용접부의 레일과 특수합금강 경계면에서는 탄소 확산이 일정 영역까지 이루어진 것으로 확인되었다. 니켈, 크롬, 망간은 확산 영역의 폭이 매우 좁음을 확인할 수 있다. 성분 분포와 전 항의 4.4 조직 사진을 비교할 때 용접부에서의 경화조직 형성 경향은 크지 않은 것으로 판단된다.

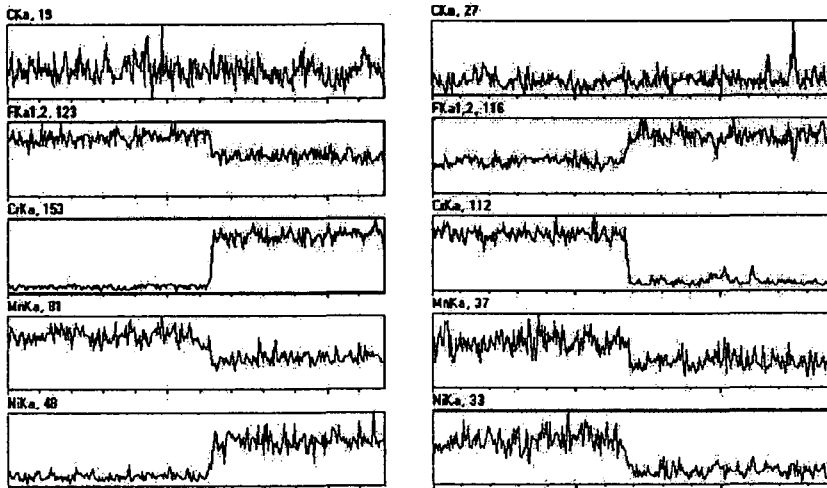


그림 13. 레일 용접부의 EDS 분석 Chart(망간강+특수합금강+레일강) - C,Fe,Cr,Mn,Ni

5. 결론

수 백 개의 용접 시편을 제품과 동일한 모양으로 제작한 후 직진도 검사, 치수 검사, PT 검사, 벤딩 Test 등을 반복하였고 조직검사, SEM 검사를 통하여 적정 용접 Parameter 개발에 성공하였다.

금번 강원레일테크의 망간크로싱과 레일의 플래시버트 용접 기술 개발은 고속철도 분기기의 국산화에 걸림돌이던 가동 노즈 크로싱의 플래시버트 용접을 국내 기술로 가능하게 하여 수입 대체 효과를 발생시켰고 또한 분기기 내에서의 레일 장대화를 실현함으로써 분기기내 속도 향상, 승차감 향상, 유지보수비 절감 등등 금액으로 환산할 수 없는 효과가 있게 될 것이다.

강원레일테크는 망간크로싱과 레일의 플래시버트 용접 기술 개발로 선진국과 동일한 수준의 기술을 보유하게 되었으며 향후에도 지속적인 신기술 개발로 국내 철도 산업의 선구자 역할을 성실히 수행해 나갈 것이다.

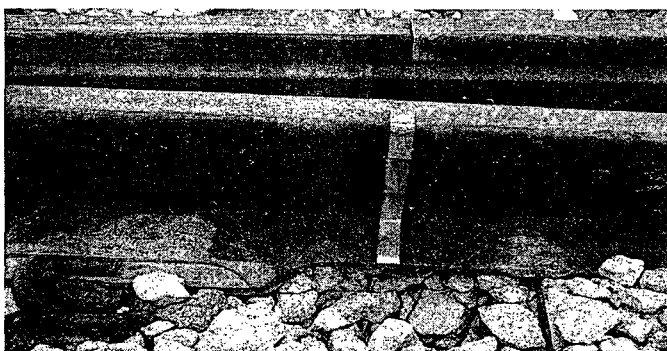


그림 14. 망간크로싱과 레일의 플래시버트 용접 현장 부설 사진

참 고 문 헌

1. 개정판 선로공학(2002), 서사범 저, 도서출판 (주)얼과알
2. 플래시버트 용접의 원리와 기술의 발달(1998.3), 서사범 저, 철도선로
3. Welding handbook, AWS, USA
4. Report no.45.00, Evaluation of three tri-metal welds(2000), SNCF(france)
5. The flash butt welding of pipes and rails(1989), S.I Kuchuk-Yatsenko & V.T. Cherednikok, edited by E.O Paton Electric Welding Institute; UkrSSR Academy of Sciences Kiev