

이동식 플래시 버트 용접의 효과

The effect of Mobile Flash Butt Welding

김준석* 이종수** 이학규*** 이종권* 이지하****
Kim, Jun-Sik Lee, Jong-Su Lee, Hak-Kyu Lee, Jung-Kwon Lee, Jee-Ha

ABSTRACT

In track a third weakness point is joint part, turnout part, curve part. One of them joint part of rail have been known to the most weak point by loosen of joint bar and fish bolt due to impulse and vibration by wheel contact at times. In addition happen to deformation and failure at end of rail, failure and miniature of ballast gravel. Finally impact between wheel and rail become origin cause of a welded rail, noise and vibration, riding condition deterioration, besides track failure.

In the present domestic, Thermitic and Gas pressure weldings have been used to continuous welded rail(CWR), however stiffness and confidence in quality is lower than Flash butt welding method.

FBW have the excellent capacity, however have a shortcoming large scale of machine and power equipment. Therefore we will introduce Mobile Flash Butt Welder can weld in track.

1. 서 론

궤도에 있어서 3대 취약부는 이음매부, 분기부, 곡선부이며, 이 중 레일 이음매부가 최대 취약 부로 상시 차륜에 의한 충격 및 진동으로 이음매관 및 이음매관 볼트의 이완, 레일 단부의 변형 및 손상, 도상 자갈의 파괴 및 세립화 등이 발생하며, 차륜과 레일간의 충격으로 인하여 레일의 끝닿음 현상, 소음과 진동, 승차감 약화는 물론 궤도 파괴의 주요 요인이 되고 있다.

궤도에 있어서 가능한 한 레일을 장대화 함으로써 궤도의 최대 결점부를 제거하고 효과적인 궤도구조를 가질 수 있도록 용접 기술에 대한 개발이 지속적으로 이루어지고 있으며, 현재 국내에서는 가스 압접법 및 테르미트 용접법을 사용하여 레일 장대화를 꾀하고 있으나 플래시 버트 용접법에 비하여 강도의 균일성 및 품질에 대한 신뢰도가 떨어진다.

플래시 버트 용접은 성능은 우수한 반면 기계 장치와 전원설비가 대규모이어야 한다는 단점을 가지고 있어 이를 보완하여 궤도 선로상을 운행하면서 플래시 버트 용접을 행할 수 있는 Mobile Flash Butt Welder를 소개하고자 한다.

2. 레일의 용접

2.1 레일 용접의 개요

레일 용접에는 레일의 장대화를 위한 용접, 크로싱이나 레일 담면 손상부의 수선 용접, 망간크

* 삼표엔지니어링(주) 대리, 정회원

** 서울산업대학교 철도전문대학원 공학석사, 삼표케이아이티(주) 상무, 정회원

*** 삼표엔지니어링(주) 이사, 정회원

**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

로싱과 보강 크로싱의 용접 등이 있다. 레일 용접 방법은 레일 장대화에 이용되는 플래시 버드 용접, 가스압접, 테르넷 용접, 엔드로스 아르 용접의 4종류가 있고, 그 외에 공전상의 보수에 이용되는 가스 용사 육성 용접, 보수 용접 및 망간크로싱과 레일 용접에 이용되는 피복 아르 용접, 레일 본드에 이용되는 납땜 등이 있다.

레일 장대화는 레일 이음매부에 있어서의 충격, 전동이 근본적으로 해소되어 커드 보수비의 절감, 소음의 감소, 승차감의 향상 등의 획기적인 이점이 있기 때문에 국내외적으로 지속적으로 추진되어 왔다. 국내의 경우 장대레일의 제작은 통상적으로 25m 정척 레일을 기지에서 300m로, 또는 현장의 간가지지에서 100m로 장척 또는 장대화하여 부설현장으로 운반 후 2차접합을 시행하여 소정의 길이로 하고 이 양단에 기부설되어 있는 레일, 신축이음매 등과 3차 접합을 한다. 일반적으로 1차 용접에는 작업능률이 높고 접합부의 신뢰성이 높은 플래시 버드 용접(고속열도)과 가스압접(일반열도)이 시행되고, 2차·3차 용접에는 레일을 이동시키지 않고 용접할 수 있는 테르넷 용접이 주로 이용되고 있다.

그러나, 테르넷 용접은 용접부가 근본적으로 주물형태로서 용접 강도가 떨어져고, 작업이건 및 작업자의 숙련도에 따라 용접 품질에 큰 차이가 발생하게 된다. 따라서, 용접 품질의 안정 및 불유비용 절감을 위한 현장 시공, 용접품질 관리를 위한 용접시의 품질 모니터링 등이 필요한 실정이다. 이에 당사에서는 국내 최초로 레드 부설 현장에서 고품질의 용접 성능을 발휘할 수 있는 이동식 플래시 버드 용접 장비를 도입하여 국내 용접 기술을 한층 더 발전시키고자 한다.

2.2 플래시 버드 용접의 원리

부재의 저항 발열을 원인으로 하여 접합부를 형성시키는 저항용접에 있어서 대표적인 맞대기 용접이 플래시 버드 용접법이다.

플래시 버드 용접은 용접할 2개의 레일 단면을 연마하여 중심 맞추기를 한 후 가변계 접촉시켜 두고 대전류를 통하여 레일을 약간 미는 것에 의하여 레일 단면의 접촉점에서 전기 저항에 의한 플래시(불꽃)가 발생하며, 온도가 급격히 상승하게 된다. 이 때 레일 단면의 접촉과 분리를 반복하며 전류를 단속시켜 가열을 계속하고 마지막 플래시는 지속적으로 가압력을 크게 하고 전류량을 증대시켜 단면이 완전히 용융상태로 되었을 때 전류를 끊고 순간적으로 가압하여 레일을 압입한다. 최종 공정에서는 압축 증가가 발생하여 단면을 더듬으로서 산화와 비압축 계층물의 혼입으로부터 단면을 보호할 수 있다.

용접된 레일은 압력으로 생긴 뒤틀음을 제거하고, 종·횡 방향의 휨을 정정하고, 연마기로 표면을 마무리하여 용접을 종료한다.

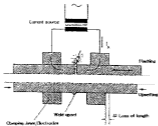


그림1. 플래시 버드 용접의 원리



그림2. 플래시 버드 용접 순서

2.3 플래시 버드 용접의 특징 및 주요 결합

1) 특 징 : 플래시 버드 용접은 플래시 과정에서 큰 압력을 가하는 일 없이 단면 편면에 대해 균일한 가열을 할 수 있는 점이나 플래시를 발생시키는 점 등으로 다음과 같은 특징이 있다. 장점은 대단면 부재도 용접이 가능하며, 부재에 대한 열영향 범위가 좁고, 변형 영역이 작기

때문에 강도에 대한 균일성이 높고 용접 작업에 대한 신뢰성이 매우 높다. 또한, 용접 작업이 기계적 공정으로 작업시간이 짧은 반면 기계장치와 전원 설비가 대규모이고 용접 장비가 고가인 단점이 있다.

2) 주요 결함 : 가압력이 작은 경우 압착 불량에 의한 미접합 또는 공간 등이 발생하고, 용접 압력과 가압력이 같지 래일 Corner부가 형성되어 고온 용역 후진이 발생하고, 산화 개재물에 기인하는 결함파변으로 접합 경계면이 파괴되어 플랫 파변 등이 발생할 수 있으나, 이런 결함은 용접 작업 중 DATA LOCKER SYSTEM에 의해 전수 선별 가능하다.

3. 레일 용접의 특성

3.1 레일의 용접 열영향부 분포

레일의 용접에 있어서 열영향부가 불순물 열차 운행 횟수의 증가에 따라 열영향부의 마모가 발생하여 승차감과 지하 및 레일의 안전 요인이 발생하게 되는데 용접별 열영향부 분포를 보면 플래시 버트 용접이 다른 용접에 비해 열영향 범위가 매우 좁고, 타 용접법에 비하여 여러 가지 면에서 우수함을 알 수 있다.

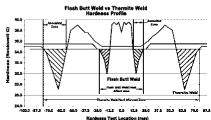


그림3. 용접별 열영향부 분포

도표1. 용접별 주요 성능

구 분	기본 구성	이음매 효율(%)	열영향부 (mm)	환경 오염	불량율
플래시 버트 용접	압접	97	40~60	낮음	낮음 (0.04%)
가스압접	압접	94	120~140	낮음	다소높음 (0.5%)
테르미트 용접	주조	92	145~185	높음	높음 (1.4%)

3.2 용접부 불량률 및 손상율

일본에서 본격적으로 레일 장대화를 채용한 것은 1964년경이며, 이때부터 약 13년간 부설 레일의 용접에 대하여 년평균 부설수에 대한 1000개소당의 손상 비율을 분석해보면 손상의 약 85%를 테르미트 용접이 차지하고 있으며, 미국 및 유럽지역에서도 레일 장대화 구간에서 열차 통과 횟수의 증가에 따라 테르미트 용접부가 플래시 버트 용접 및 가스 압접에 비해 불량률이 매우 높음을 알 수 있다. 이에 미국 및 유럽지역에서는 플래시 버트 용접의 시공성 및 품질 우수성을 인식하여 레일 장대화를 위한 용접은 플래시 버트 용접법을 채택하여 용접을 시행하고 있다.

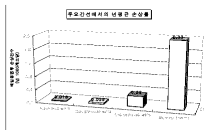


그림4. 일본 주요간선에서의 년평균 손상율

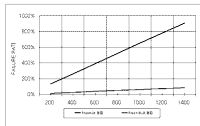


그림5. 용접법 통과횟수에 따른 불량률

3.3 국내 용접부 손상 분석

국내 보선사무소에서 5년간(1994~1998) 용접 현황을 살펴보면 가스압접이 62%, 테르미트 용접이 35%, 기타 용접이 3%를 차지하고 있으며, 용접별 손상 건수는 총 손상건수 1,464건 중 테르미트 용접이 51%, 가스압접이 43%를 차지하고 있다. 손상 레일을 분석해 본 결과 가스압접의 주요 손상 원인은 플렛 파면에 의한 손상이 가장 많았고, 테르미트 용접은 저부 용합 불량, 균열 기공에 의한 절손이 대부분을 차지하고 있었다.

도표2. 용접 종류별 용접수/손상수

년도	플래시 버트 용접		가스 압접		테르미트 용접		엔크로스 아크 용접	
	용접수	손상수	용접수	손상수	용접수	손상수	용접수	손상수
1994	0	0	8,576	110	3,642	159	448	19
1995	0	0	7,827	185	5,027	195	192	32
1996	0	0	10,957	165	6,643	226	438	14
1997	809	0	17,700	93	9,072	111	0	16
1998	1,322	0	18,890	73	10,233	57	0	9
합 계	2,131	0	63,950	626	36,617	748	1,078	90

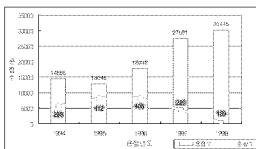


그림 6. 5년간 용접수/손상수 비교

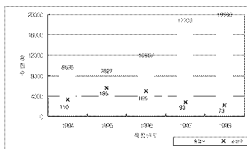


그림 7. 가스 압접법

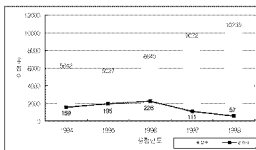


그림 8. 테르미트 용접

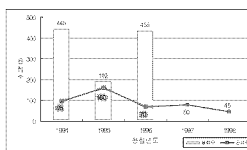


그림 9. 엔크로스 아크 용접

4. 레일 용접의 문제점 및 해결방안

상술한 바와 같이 현재 국내에서 시행되고 있는 레일 장대화 용접법은

- 1) 현장 용접은 인적 요소의 개입으로 품질성능이 떨어지며, 품질성능 추적이 불가능하고
- 2) 용접 품질이 떨어져 용접 레일에 대한 보수주기가 짧아 유지보수 인력 소요가 많고,
- 3) 공장 제작 장래레일의 경우 현장까지의 운반 체계가 미흡하여 불투명 발생이 높다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 현장 이동성이 용이하고, 품질 성능이 우수한 이동식 플래시 버트 용접 장비류 이용하여 국내 용접 레일을 품질을 향상시키고자 한다.

5. 이동식 플래시 버트 용접 장비의 도입

현재 국내에 도입되어 있는 플래시 버트 용접 장비는 공장 정지식 용접 장비로 공장에서 레일(UIC60)을 장대화하여 현장에 부설하는 설비로 한국철도시설공단(오송기지)에서 보유하고 있으며, 국내 경부고속철도 공사의 레일 장대화 용접에 적용하였으며, 특수식으로 이종 재질의 용접이 가능한 설비로 삼표케이알티(주)에서 보유하고 있는 설비로 현재 분기기에 들어가는 망간크로싱과 레일(50kgN, 60kg)의 이종 재질을 용접하여 철도청 및 지하철에 적용하고 있다.

또한, 금번 삼표케이알티(주)에서 도입한 이동식 플래시 버트 용접 장비는 공장 및 궤도 부설 현장 등 철도 선로의 어느 곳에서나 자유롭게 사용할 수 있도록 플래시 버트 용접기를 차량에 탑재한 장비이다.

5.1 이동식 플래시 버트 용접 장비의 특징

1) 특별한 조작 : 이동식 플래시 버트 용접 장비는 독립적이고 자주식으로 움직이는 이동식 용접 공장으로 기존의 테르미트 용접이나 공장에서의 고정식 용접을 현장에서 훌륭히 대체할 수 있는 장비이다. 다목적적이고 기능력이 우수하며, 여러 가지 작업 환경에 대해서도 적응력이 뛰어나고, 레일 이음매부 제거, 장대레일의 갱환 및 신규 궤도 시공분야 등 여러 부문에서 유용하게 적용이 가능하다.

2) 완벽한 용접 시스템 : 장비가 레일 위를 주행하는 상태에서 유압 펌을 이용하여 Welder Head를 자유로이 이동하여 용접 작업을 행할 레일의 정확한 위치로 이동 시킬 수 있으며 다양한 레일 규격에 적용할 수 있다.(KS 50kgN, 60kg, 60kg-K, UIC54, 60)

3) 탁월한 작업 제어 : Welder Head에 장착된 컨트롤러를 조작하여 버튼 하나로 모든 용접 작업이 이루어질 수 있도록 되어 있다. 자동 제어 시스템은 인적 요소에 의한 오류를 줄이고 레일의 급속 특성에 따른 맞춤형 용접으로 용접 품질 개선과 레일의 수명 향상을 꾀할 수 있다.

4) 입증된 성능 : 본 용접 장비는 전 세계적으로 2,600만 건이 넘는 Flash Butt 용접 작업을 시행해 오면서 세계 유수의 철도 회사 및 수송 회사를 주요 고객으로 가지고 있어 세계적으로 널리 사용되어지고 있는 용접 장비이다.

5.2 이동식 플래시 버트 용접 장비의 구조

1) 트랙에 용접기가 탑재된 방식으로 도로 주행뿐만 아니라 궤도 주행이 가능하도록 별도의 유압에 의한 Hi-Rail Wheel 구동 장치가 장착되어 있다.

도표3. 용접 차량의 속도

구 분	궤도주행	도로주행
전 진	32km/h	100km/h
후 진	8km/h	8km/h

2) 차량 규격은 국내 철도의 건축한계 및 차량한계를 고려하여 제작되었으며, 용접이 행해지는 Welder Head 전 부분이 차량내에 탑재되어 있으며, 궤도 내에서 좌우측 레일을 자유로이 용접할 수 있도록 되어 있다.

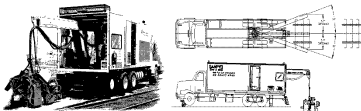


그림10. 이동식 플라스마 아크 용접 장비

2) Welder Head는 실질적으로 용접이 행해지는 가장 중요한 부분으로 컨트롤러가 부착되어 있어 조각이 간편하고 레일 Centering 정렬이 용이하며, 용접 작업 후 Deburring 작업을 자동으로 수행할 수 있는 장치이다.

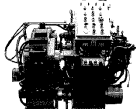


그림11. Welder Head



그림12. 용접 후 자동 Deburring

3) 차량에 장착된 컴퓨터에 의해 용접을 제어하고, 플라스마 아크 용접 작업에 대한 데이터를 용접 작업이 진행되는 동안 실시간으로 표현해주므로 용접 품질 제어를 용이하게 할 수 있다.

4) 이동식 플라스마 아크 용접 설비의 일반적인 성능은 다음과 같다.

도표4. 이동식 플라스마 아크 용접 설비의 일반적 성능

구분	성능	구분	성능
용접 가능 레일 최대 단면적	10,000㎠ (\cdot 50kgN-6,420㎠ \cdot 60kg :7,750㎠)	최대 길래벨 압력	173ton
용접 시간(연속)	120~185초	최대 가압력	65ton
레일 손실량	25~38mm	용접 범위	좌우 2,900mm
용접 전류	40,000A	용접 가능 레일	KS 50kgN, 60kg UIC 54, 60

5.3 이동식 플라스마 아크 용접 장비의 효과

- 1) 장대레일의 화차 운반 작업이 필요 없으므로 물류 비용이 절감되고,
- 2) 기존 용접 작업에 비하여 시공 시간 단축 및 시공비가 절감되며,
- 3) 기계적 공정으로 용접 품질이 균일하여 용접 작업 능력이 향상되고,
- 4) 차량에 장착된 PC 모니터에 작용하중, 용접 전류, 용접 테이블 위치 등을 실시간으로 모니터링 해줌으로써 우수 품질을 보증해 줄 수 있다.

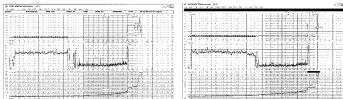


그림13. 플래시 버트 용접 종결 그래프(양용 & 분광)

Korea National R RAILROADS RAIL PLANT Works		Korea National R RAIL		
Loading Unit Service (Working Machine number: 800026) Train No: 427100 Date: 200804 Start Time: 15:28:14		Working Machine number: 800026 Job No: 400704 Date: 200804 Start Time: 15:28:14		
Work No: 46 Gang No: 2		Type of Rail: 50kg R671001-CG Voltage: 50 Working No: 0		
Type of Rail: 50kg R671001-CG				
# of Phot spots	Preheat Time(sec)	Time Between Preheating(sec)		
*** No. Pre-Flash ***				
FLASH EVENT TIME	0:04 sec			
FLASH EVENT DISTANCE	5.04 mm			
OVERALL FINAL FLASH TIME	48:21 sec			
OVERALL FINAL FLASH DISTANCE	15.59 mm			
SPEED CURRENT TIME	1.43 sec			
SPEED HOLD TIME	9.76 sec			
SPEED TRAVEL DISTANCE	13.23 mm			
OVERALL WELD TIME	2 mm 28 sec			
RAIL LOSS TIME (WELD)	22:30 sec			
RAIL LOSS TIME (STRONG)	5474 mm			
Quoted at 0.01 to 0 seconds after 0 second delay				
JO: WELDING SPEED OFF NO CURRENT NO CURRENT NO BLAST **Complete** WELD DIST: 884 12 15mm ** Yes **		JO: WELDING SPEED OFF CYCLE Time(sec) Max. speed(mm) Max. Cur. (amp) Travel(mm)		
PREHEAT	48:27	OFF	400	
FLASH	49:02	8.0	125.1	22.65
WELD	5:30	40.0	847.5	11.23
OVERALL WELD	2:04 28 sec			21.90
START TO START	8:04 47 sec			

그림14. 플래시 버트 용접 종결 보고서(Inspection & Office Report)

6. 결 론

2004년 4월 KTX의 개통과 더불어 고속화 시대에 진입한 우리 철도는 기존선 역시 속도 향상 및 승차감 향상 요구가 더욱 강해지고 있는데, 고가 단축과 승객의 안전을 위한 선로의 장대화는 필연적으로 지속되어야 할 것이므로 장대화를 위한 레일 용접 품질은 그 어느 때보다 중요한 것이다.

이러한 때에 이동식 플래시 버트 용접 장비에 의한 현장 용접은

- 1) Computer Control에 의한 전기 기계장치로 용접 성형 및 품질이 균일
- 2) 루에 대한 열영향 범위 및 변형 영역이 적어 용접 강도가 높음
- 3) 용접 품질에 대한 실시간 모니터링으로 용접 신뢰도 확보(용접 장비에 부착된 PC에 용접 Data Display 및 분석 가능)
- 4) 이동성이 용이하여 현장에서의 레일 장대화 실현으로 물류 비용 절감(도로 및 철도 운행 가능) 등의 효과로 국내 선로 유지보수 기술을 한 단계 높이는 획기적인 계기가 될 것이다.

참고문헌

1. 서사범(1999년), "선로공학", 삼우 공
2. Conrad Raveh(2003년), "Mockup Railway Track", MKT Productions
3. 이경승 외(1998년), "레일 용접부의 특성에 관한 연구", 한국철도기술연구원
4. "레일용접 및 각종 용접기에 대한 실험보고서", NKK 日本鋼管
5. 加藤俊文 外(1985년), "回轉調整新在工事に於けるレール溶接", 新線路