

테르밋 레일용접의 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Thermit Welded Rail

나 성 훈* 양 신 추**
Na, Sung-Hoon Yang, Sin-chu

ABSTRACT

CWR technology is generally believed to contribute to the increase of train speed and bring a variety of significant advantages, such as the decrease in track works, noise and vibration as well as the improvement of passenger comfort. In CWR technology, welding is considered to be one of the most important element technologies.

Among the various welding methods, thermit welding is the most frequently used one for site welding since the operation is simple and the instruments are light as well as easy to deal with. However, it could cause interference with safety operation of trains since thermit welding points, are essentially made of castings and there are potentialities of defects according to the operation conditions, the environment of the site as well as the dexterity of the worker.

This study tries to describe the characteristics of thermit welding, defect-causing factors and defect-detecting methods at welding points.

1. 서론

레일의 장대화는 열차의 속도향상에 크게 기여할 뿐만 아니라 궤도 보수량의 저감, 열차승차감의 향상, 진동·소음의 저감 등 많은 긍정적 효과를 가져오는 역할을 하고 있는데 레일을 장대화하기 위해서는 레일을 용접하는 기술이 대단히 중요하다 할 수 있다.

국내 고속철도를 제외한 대다수 철도의 장대레일 용접방법은 먼저 25m 정척레일 4개를 가스압접으로 100m 용접한 후 현장으로 운반하여 100m의 장척레일을 테르밋용접으로 장대레일화하고 있다. 공장용접과 달리 현장에서 용접하고 있는 테르밋용접은 용접작업이 단순하고 용접기구가 간단하며 경량이기 때문에 현장부설용접으로 많이 사용되고 있다. 그런데 용접부가 본질적으로 주물로 만들어져 있어 용접시 작업조건 및 주변환경, 용접공의 숙련여부에 따라 결함이 발생하여 열차의 안전운행에 지장을 초래할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 테르밋용접의 특성 및 결함발생요소 그리고 용접후 결함검출방법 등을 통해 테르밋용접 손상방지대책에 대해 서술하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

2. 테르밋용접의 원리 및 특성

테르밋용접법은 산화철과 알루미늄간에서 일어나는 약 2,500℃에서의 산화반응으로 용융철을 얻어 레일과 레일사이에 간격을 매워 용접하는 방식이다. 운행선의 레일 이음매에 형틀을 설치하여 간단한 설비로 시행할 수 있으며, 화학반응은 다음식에 따라 진행된다.



산화철 알루미늄 산화알루미늄 철 약 2,450℃

테르밋용접의 특징은 용접작업이 단순하고 기술의 습득이 용이하며, 용접기구가 간단하고 경량이므로 기동성이 있다는 점이다. 그리고 용접에 전력이 필요 없으며 용접시간이 비교적 짧다. 레일용접의 경우에는 가스압접용접과 같이 가압·압축을 필요하지 않으며 현장 부설레일용접에 적합하다. 그러나 용접부가 본질적으로 주물로 만들어져 다른 용접법에 의한 접합부에 비교하여 강도면에서 약간 뒤떨어지는 특징이 있다. 도표 1.은 용접방법에 따라 성능을 비교한 것이다.

도표 1. 용접방법에 따른 성능 비교⁶⁾

Test			Welding Method		
			JNR Gas Pressure Welding	Flash-Butt Welding	Thermite Welding
Fatigue Strength(kgt/cm ²)	One Type Rotation Bending		29-31	23-28	27-31
	Bending(actual rail)		34	29.5-34	18-22
Static Bending Test	Maximum Bending Load(t)	Head Up	121-137	116-139	99-110
		Head Down	118-131	99-118	88-99
	Deflection(mm)	Head Up	25-84	30-97	17-23
		Head Down	23-90	13-64	11-18
Drop Weight Test	Height(m)	JIS type	2-3.5	1.5-5	2.5-4
		French type		3-8x5	
	Deflection(mm)	JIS type	15-53	7-69	4-9.4
		French type		7-57	

3. 테르밋용접의 결함 및 손상현황

3.1 테르밋용접의 결함

테르밋용접부의 결함에는 레일단면이 용접금속과 융합되지 않고 미접합면이 존재하는 융합불량, 용접금속의 응고과정에서 레일이 인장되어 용접금속의 중심부에 광범위하게 발생한 균열, 용접금속내에 발생한 가스가 용접금속에 남아 잔류한 다수의 블로우 홀(blow hole)등이 있다. 그 중에서 저부융합불량 및 균집기공에 의해 절손된 경우가 가장 많이 나타났다.



(a) 저부융합불량
용접년월: 1984. 12.
절손년월: 1997. 01.



(b) 저부융합불량
용접년월: 1996. 12.
절손년월: 1997. 12.



(c) 균집기공
용접년월: 1995. 11.
절손년월: 1997. 12.

그림 1. 테르밋용접의 절손사진

3.2 테르밋용접의 손상현황

국철에서의 연간 용접현황은 대략 가스압접용접이 62%, 테르밋용접이 35%, 기타용접이 3%를 차지하고 있으며 용접개소는 점차증가 추세에 있다. 손상건수에 대해서는 총손상건수 1,464건 중에서 테르밋용접이 51%, 가스압접용접이 43%를 차지하고 있으며 테르밋용접의 경우에 1995년을 정점으로 1997년 레일용접공 자격기준강화 이후 대폭 감소추세로 전환되고 있다.

월별 손상현황은 5년간(94년부터 98년까지) 통계를 분석한 결과 겨울철에 가장 손상이 많이 발생하였고 여름철에 가장 적게 손상되고 있다. 11월부터 2월까지 겨울철에 발생된 손상수가 전체 손상수의 57%를 차지하고 있는데 내부결함이 있는 용접부가 온도저하에 따라 레일 인장력이 가중되어 손상에 이르고 있다고 판단된다.

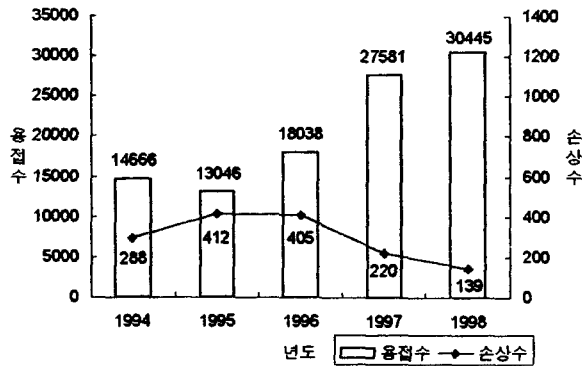


그림 2. 테르밋용접의 손상현황

4. 테르밋용접부 손상발생원인 분석

4.1 테르밋용접의 결함발생원인 추정을 위한 시험

테르밋용접의 결함이 발생하는 원인을 찾기 위하여 외국문헌과 현장용접기술자의 경험을 바탕으로 용접발생원인요인별로 50개 시험편을 제작, 시험용접을 실시하여 저부용합불량, 균집기공, 기공, 저부의 이물질 개입 등의 원인을 찾아내었다.

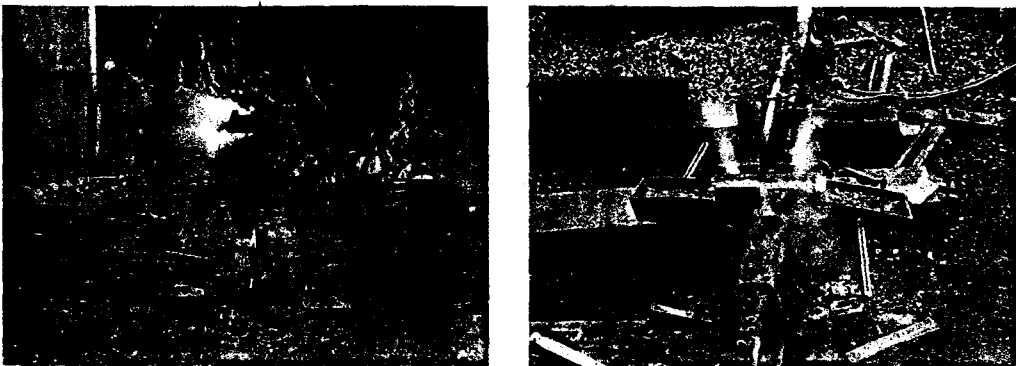


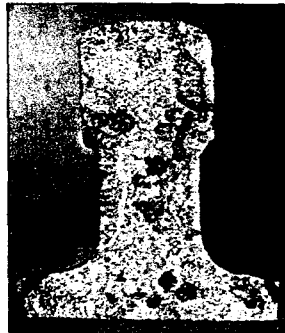
그림 3. 시험편제작 현장사진

4.2 테르밋용접의 결함발생원인 시험결과

- (1) 도가니를 충분히 건조하지 못한 경우에 발생하는 결함
 처음 테르밋용접을 할 때 도가니를 충분히 건조시키지 못하는 경우에는 도가니에 잠재되어 있는 습기로 인하여 도가니에 반응한 용강의 열이 충분하게 레일에 전달하지 못하게 되므로 레일저부의 용합불량과 균집기공이 발생되고 있다.
- (2) 용접간격부분에 예열을 충분하게 하지 않은 경우에 발생하는 결함
 테르밋용접의 사용설명서에 따라 예열시간을 준수하지 못한 경우나 예열을 하지 않은 경우에는 균집기공과 저부의 용합불량이 나타났다.
- (3) 표준 용접간격을 준수하지 못하는 경우에 발생하는 결함
 용접간격이 적은 경우에 발생하는 결함으로 슬래그 개입과 저부의 용합불량이 발생되고 있다.
- (4) 용접단면 청소를 하지 않은 경우에 발생하는 결함
 용접할 단면 및 주변 5cm까지 쇄슬로 이물질 또는 기름 등을 제거하여야 하는데 청소상태가 깨끗하지 못하거나 하지 않은 경우에 결함은 기공이 발생되고 있다.



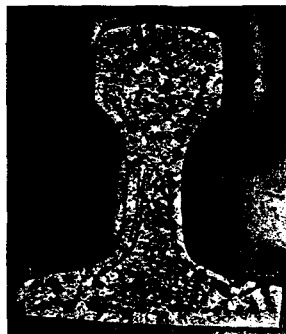
(a) 도가니 건조안됨
용합불량, 기공발생



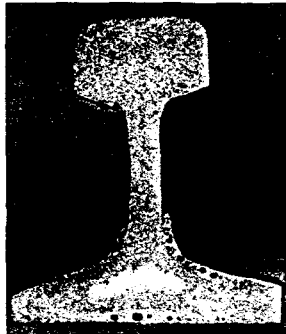
(b) 도가니건조가 불량
기공발생



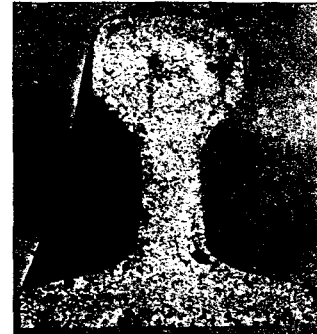
(c) 용접간격 13mm일때
저부용합불량, 이물질개입



(d) 예열안됨
균집기공발생



(e) 예열부족(2분예열)
기공발생, 저부용합불량



(f) 레일단면 청소상태불량
기공발생

그림 4. 테르밋용접의 결함발생 사진

5. 테르밋용접의 질손방지대책

5.1 테르밋용접 후 초음파탐상검사

용접 시험편을 채취하여 대비 시험편으로 가공, 이로부터 초음파 탐상기의 교정, 사용 탐촉자의 특성파악, DAC curve의 작성과 이를 이용하여 결함을 검출한다면 용접부의 건정성 여부를 정량적으로 평가할 수 있다.

질손된 용접부는 대부분은 레일저부에 용합불량 및 균집기등 등이 존재하므로 2탐촉자법을 이용하면 용이하게 용합불량 및 기공의 검출을 할 수 있으며, 두부정면에서 1탐촉자법에 의해 저부의 용합불량 및 기공을 검출할 수 있고, 복부 또한 결함을 검출할 수 있으므로 유해한 용접결함을 가진 용접부를 미리 제거하면 열차운행시 용접부의 질손을 최대한 막을 수 있다.

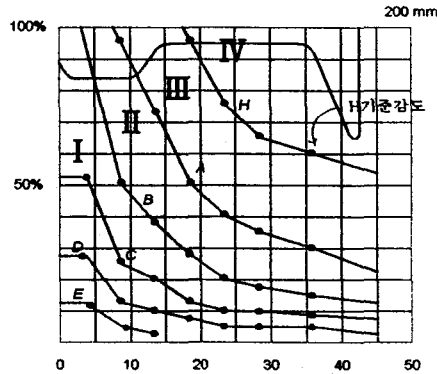


그림 5. 거리진폭특성곡선의 일례

도표 2. 이탐촉자법에 의한 결함의 등급분류

최대 에코 높이	등급
10%이상~20%이하	1급
20%이상~40%이하	2급
40%이상~80%이하	3급
80%이상	4급

도표 3. 일탐촉자법에 의한 결함의 등급분류

최대 에코 높이 출현 영역	등급
영역 I	1 급
영역 II	2 급
영역 III	3 급
영역 IV	4 급

5.2 표준용접작업의 준수 및 용접시간의 확보

열악한 작업조건에서의 조급한 용접으로 인하여 레일용접 결함이 발생되고 있으므로 표준용접 조건을 준수하고 다음의 주의사항에 대하여 주의하게 용접한다면 용접결함을 방지할 수 있다.

- (1) 레일절단시의 표준용접간격을 준수하고 레일절단면이 경사지게 잘려지기 하게 주의하여야 한다.
- (2) 예열작업은 용접에 있어 가장 중요한 작업이므로 예열시간을 준수하고 가스압력 등 예열장비점검을 철거하게 한다.
- (3) 용접개시전 도가니는 습기를 머물고 있는 경우가 많으므로 충분히 가열하여 건조한 상태에서 사용하여야 한다.
- (4) 용접시 레일단면에 있는 녹이나 기름 등을 깨끗하게 청소하여 사용한다.
- (5) 용접후 레일은온도가 350℃(용강주입후 최소 30분)정도 낮아진 상태에서 열차를 운행시켜야 용접부의 손상 및 처짐을 피할 수 있으며, 1개소용접시의 소요시간이 60분정도 확보되어야 표준용접을 할 수 있는 시간확보가 가능하다.

6. 결론

연구결과 테르밋용접은 표준 용접조건만 지켜진다면 용접 자체적인 강도부족으로 절손되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 용접에 필요한 시간 확보가 우선된 상태에서 표준용접조건인 용접지침서에 의해 용접을 실시한다면 용접시공시 발생될 수 있는 용접결함을 최대한 줄일 수 있다.

그리고 정량적인 초음파탐상 검사 기준인 거리진폭 특성곡선을 이용하여 유해한 결함이 있는 용접부를 적시에 배제하는 것이 가능하므로 용접 후 초음파검사를 철저하게 실시하여 불량하게 용접된 레일을 미연에 제거한다면 용접레일 절손에 따른 열차지연 및 사고를 방지할 수 있다고 판단된다.

참고 문헌

1. 양신추, 나성훈(1998), “레일용접부의 특성에 관한 연구 보고서”
2. 三 智志,(1995) ゴールドサシット溶接部の 折損状況, 新線路 2月 pp26~28
3. 村上 英外 1人(1997),“新幹線の レール損傷の 現状”, 日本鐵道施設協會誌, pp263-265
4. 辰巳光正(1995),“レール溶融溶接部折損防止の ための 超音波探傷検査”, RTRI REPORT, Vol.9, No.12 pp43-48
5. 須田征男(1997), “新しい線路”, 社團法人 日本鐵道施設協會
6. Oishibashi, Hirotsugu, Katsuyoshi Ueyama, and Muneyuki Chara(1983), “Gas Pressure Welding of Rails in Japan.” Railroad Rail Welding. Proc. of the Rail Welding Symposium. 29-30 November. Ed. R. K. Steele: Railway systems & Management Association. 1985. 83-115.