

테르밋 용접을 이용한 접지 및 레일 본딩

Earthing and Rail Bonding Using Thermit Welding Method

이영근*
Young-Keum Lee

서재석**
Jae-Suk Seo

문병두***
Byung-Doo Moon

박희철§
Hee-Chul Park

ABSTRACT

The importance of modern electronic devices is gradually increased and, the requirement of the safe and reliable earthing and bonding for protection of the electronic devices is consequently absolute. The electrical continuity and physical strength of the bonding work in rail signal and impedance bonding is also one of the important issues.

The thermit welding for earth cable connection and rail bonding work proposed hereunder is an effectively applicable in many fields of rail industries.

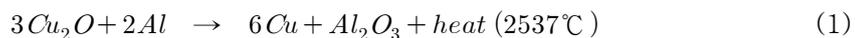
1. 서 론

금속간의 접속 방법에는 기계적 접속방식과 야금적 접속방식이 있다. 볼트, 리벳, 압착이 대표적인 기계적 접속방식이며 야금적 접속방식에는 납땜, 브레이징 및 용접이 있다. 테르밋 용접은 야금적 접속방식으로 알루미늄의 산화·환원반응 (Aluminothermic reaction)을 응용한 방식이다. 즉, 알루미늄과 금속산화물 분말을 적정비로 혼합하여 점화시키면 별도의 외부 에너지원이 없이 알루미늄의 산화열에 의해 산화알루미늄 슬래그와 환원된 금속 용탕으로 금속간의 용접이 이루어진다. 테르밋 용접재는 용접재와 점화재로 구성되며 용접소재에 따라 동과 동, 동과 철간의 전기적 접속 및 철과 철간의 구조적 연결 용으로도 널리 사용되고 있다. 최근에는 점화재 없이 전기적으로 용접재를 직접 점화시키는 방법도 이용되고 있으나 외부 에너지원이 필요치 않다는 테르밋 용접방식의 대표적인 장점이 상쇄되는 단점이 있다.

본 논문에서는 동 테르밋 (Copper thermit : Exothermic welding)반응에 의한 용접온도측정 및 테르밋 용접 방식의 기계적 성능과 경제성을 분석하였으며 테르밋 용접 방식을 이용한 건물 및 전기설비의 접지와 철도에 활용될 수 있는 적용 방법을 제안하였다.

2. 동 테르밋 용접 및 온도측정

테르밋 용접을 위해서는 나동선, 동대, 접지봉 또는 철도레일 등 용접모재를 고정시키고 용접재를 반응시킬 몰드(Mold)와 몰드를 잡아주는 클램프, 점화총, 몰드 청소용 브러쉬 등 보조 공구가 필요하다. 그림 1은 테르밋 용접의 기본 구성도를 보여주고 그림 2와 그림 3에 나동선과 접지봉을 용접한 결과 및 철도레일에 적용사례를 나타내었다. 동 테르밋의 일반적인 반응식은 다음과 같다.



* 한국이엠아이테크놀로지(주) 대표이사,
기술표준원 산업표준심의회 전력기기부회 전문위원, 정회원
** 한국이엠아이테크놀로지(주), 기술팀장, 정회원
*** 한국산업안전공단, 한국해양대학교 석사과정, 정회원
§ 부산교통공사 운영본부 차량팀장, 정회원

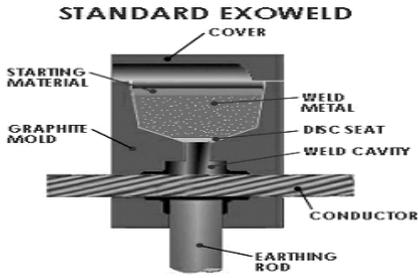


그림 1 테르밋 용접의 기본 구성도

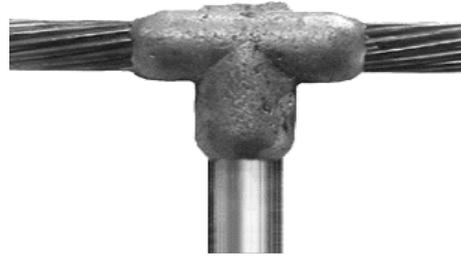
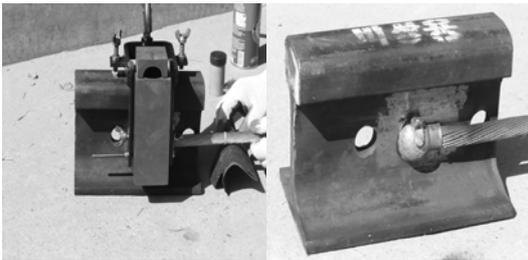
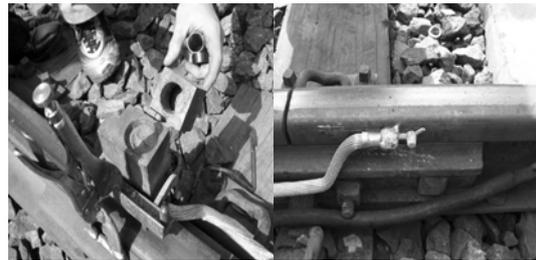


그림 2 용접 결과 (나동선-접지봉)



(a) Rail web 용접



(b) Rail head 용접

그림 3 레일 적용 사례

반응에 따른 온도는 용접재에 부수적인 첨가물이 들어가므로 이론상 2537 °C를 넘지 않는다. 아래는 동 테르밋 반응에 따른 용접온도 측정 결과이다. 이 실험은 온도 측정을 위해 특수 제작된 몰드와 4 mm 직경의 세라믹 슬리브에 삽입된 2개의 C형 Thermocouple을 사용했으며 K형으로 50 °C ~ 350 °C 대역에서 교정하였다. 온도 측정에 사용된 계측기는 KEITHLEY model 2701 Ethernet Multimeter/Data Acquisition System이다.

그림 4는 온도측정을 위한 Probe 위치를 보여주고 그림 5는 온도교정 과정을 보여준다.

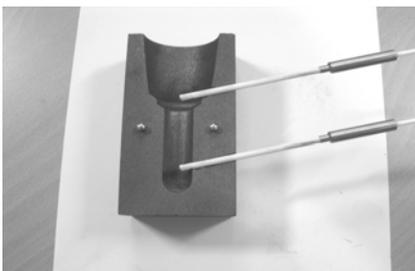


그림 4 온도 측정을 위한 배치

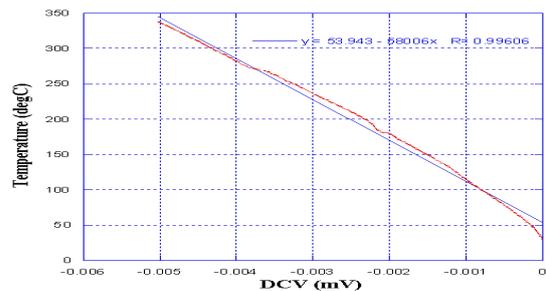
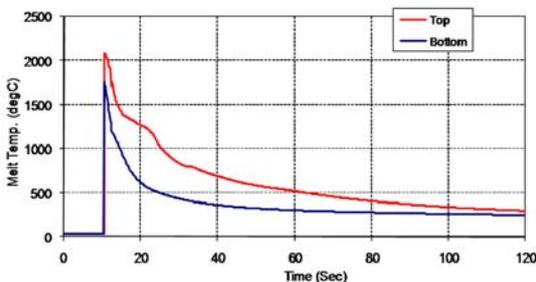
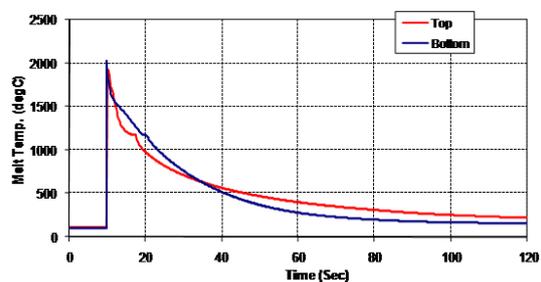


그림 5 K형 Thermocouple을 이용한 교정

그림 6(a)는 115 gram 테르밋 용접재 반응 온도변화를 측정된 결과이고 그림 6(b)는 25 gram 테르밋 용접재의 반응 온도변화를 측정된 결과이다.



(a) 115 gram load



(b) 25 gram load

그림 6 용접재 반응온도

표 1. 테르밋 반응 온도 측정 결과

구 분	상단온도(°C)	하단온도(°C)	비 고
25 gram	1918.7	2031.3	그림 6(b)
115 gram	2085.1	1711.5	그림 6(a)

반응온도 측정결과에서 볼 수 있듯이 테르밋 용접은 순간적으로 용융되어 짧은 시간 내에 상온으로 회복되므로 다른 용접방법에 비하여 용접 모재에 주는 영향이 극히 적으며 기계적인 결합이 아닌 용접에 의한 분자적 결합이 되어 도전성이 극히 우수하다.

3. 접속 방식의 종류

접지 네트워크에서 기계, 도체, 접지전극 등을 접속하는 방법을 선택할 때에는 도전성, 열용량, 기계적 강도 등을 고려하여야 한다. 또한 장기간에 걸쳐 일어나는 금속재료의 부식 및 전자력으로 인한 스트레스에 견딜 수 있는 전기적인 특성과 경제성을 고려하여 접속 방식을 선정해야 한다.

① 브레이징 (Brazing)

동(copper)합금이 사용되며 용융점이 600 °C 이하이므로 온도 한계값을 450 °C로 정하는 것이 이상적이다.

② 테르밋 방식 (Thermic Welding)

도체와 동일한 용융점(1083 °C)을 갖는 재료로 치밀하게 접속되므로 전체 접속된 부위를 도체와 일체로 간주할 수 있다.

③ 압착식 (Pressure type)

압착식에는 다양한 방식이 있으나 볼트식, 쉘리브 방식이 많이 사용된다. 일반적으로, 압착식은 도체 용융온도보다 낮은 온도를 적용하며 상대적으로 크기가 큰 접속재를 사용하여 열 싱크(열이 흡수, 소산되는 현상)로 이용한다.

ANSI/IEEE Std. 837-1989 에서는 규정에 따라 시험 및 인증되지 않았을 경우 250-350 °C 로 그 온도 한계값을 제한하도록 되어있다.

4. 압착식과 테르밋 용접방식의 비교

4.1 압착방식과 테르밋용접 방식의 성능 - IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding (변전소 접지에 사용되는 영구적 접속재의 품질검정시험을 위한 IEEE 규정) - IEEE Std.837-1989.

이 IEEE규정은 접지(특히 변전소)에 사용되는 영구적 접속재의 검정 방법을 제시하여 사용자로 하여금 정확히 접속재의 성질을 이해하고 시공할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 시험 종류에는 인장력 시험, 전자력시험, 산성 연속시험, 알카리성 연속시험 등이 있다. 이 규정에 따른 시험을 통해 테르밋 용접 방식과 압착방식(볼트식, 슬리브식)을 비교한 결과 테르밋 방식을 사용한 접속이 가장 우수한 것으로 판명되었다.

그 결과를 요약하면, 테르밋 방식의 접속은 모든 시험에서 "합격" 판정을 받았고 압착방식은 저항값이 전자력 시험에서 약 50%, 산성과 알카리성 연속 시험에서 약 150%씩 증가된 사실이 입증되었다. 따라서 테르밋 용접 방식을 이용한 도체의 결선이 전자력과 부식에 강한점이 입증되었다. 그림 7은 테르

및 용접부위를 절단한 사진으로 용접부위가 완벽하게 용융되어 접속되어 있음을 볼 수 있다.



그림 7 테르밋 용접 절단 단면

4.2 압착방식과 테르밋 용접방식(EXOTHERMIC WELDING)의 경제성 분석

계통 접지의 도체 규격은 사고전류의 최대값과 그 지속시간 및 접속 방식에 따라 정해진다. 미국에서 통용되는 산업 표준인 IEEE Std 80-1986, Guide for Safety in AC Substation Grounding (변전소 접지의 안전성을 위한 지침서)에 따르면 사고전류 하에서 도체가 용융되지 않는 최소규격의 선정을 위해 기본적으로 식 (2)를 사용한다.

$$A = K \times I\sqrt{S} \quad (2)$$

여기서,

A : 도체의 단면적 [kcmil] I : 정격 사고전류 [kA]
 K : 상수 (표 2. 참조) S : 사고전류지속시간 [초]

표 2. 허용온도별 상수 K

최대 허용온도	Copper S.D	Copper weld DSA 40%	Copper weld DSA 30%
1083 °C	7.01	10.46	12.04
450 °C	9.18	13.74	15.87
350 °C	10.10	15.13	17.46
250 °C	11.65	17.47	20.17

* DSA : Dead Soft Annealed

표 2의 최대허용온도는 IEEE Std 80-1986에 규정된 각각 상이한 접속방식에 적용되는 재질에 대한 온도로서 ;

압착식 ————— 250-350 °C

브레이징 ————— 450 °C

테르밋 용접 ——— 1083 °C

* IEEE Std 837-1989 의거 합격한 경우

또한 한국전력 변전소 접지설계 기준 DS 2601 -2007에 따르면 식 (3)과 같다.

$$A = I_F \alpha \sqrt{\frac{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{TCAP}}{\ln \left\{ 1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right\}}} \quad (3)$$

여기서,

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| A : 도체의 단면적[mm ²] | $TCAP$: 열용량계수[J/cm ³ /°C] |
| I_F : 1선지락전류[kA] | T_m : 최대 허용온도[°C] |
| α : 도체전류분류율[%] | T_a : 주위온도[°C] |
| t_c : 고장전류지속시간[s] | K_0 : $1/\alpha_0$ |
| α_r : 20°C에서의 저항온도계수 | α_0 : 0°C에서의 저항온도계수 |
| ρ_r : 20°C에서의 도체의 고유저항[μΩ·cm] | |

도체를 나연동선, 최대 1선 지락전류 값을 50 kA, 도체전류 분류율을 50 % 및 고장지속시간을 1초로 하였을 때 각 접속 방식에 따른 도체의 규격을 산출해 보면 표 3과 같다.

표 3. 접속방식별 도체의 규격

접속방식	도체규격	
	계산결과 [mm ²]	도체규격 [mm ²]
테르밋 용접	89	95
브레이징	116	125
압착식 (350 °C)	128	150
클램프식(250 °C)	147	150

즉, 접속 방식에 따라 사고전류용량을 고려하여 계산된 도체의 단면적을 100으로 볼 때,

- | | |
|----------------|--------------|
| 테르밋 용접 : 100 % | 압착식 : 143 % |
| 클램프방식 : 165 % | 브레이징 : 131 % |

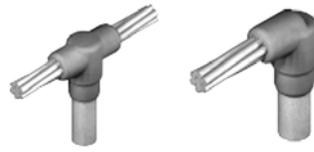
로서 필요 이상의 단면적을 갖는 나동선을 사용하게 되어 자재비의 증가를 가져온다. 따라서 테르밋 용접 방식의 경우 압착식을 사용한 결선방식보다 약 30-40 % (중량비) 가는 전선을 사용하여도 동일한 사고 전류값에 견딜 수 있는 효과가 있으며 이는 접지용 전선 재료비를 30-40 % 절감시킬 수 있다.

5. 테르밋 용접방식의 적용

테르밋 용접방식은 동과 동은 물론 동과 철 (스테인리스 스틸 포함)을 접속할 수 있는 유일한 방법으로 대표적인 활용 방안은 건물 및 전기시설물의 접지체 접속과 철도의 궤도회로 접속이다. 테르밋 용접은 미국을 비롯하여 전 세계적으로 접지 및 철도 시설에 다양하게 적용되고 있으며 특히 미국, 중남미, 인도 및 호주 등 여러 국가에서 궤도회로 접속 방식으로 표준화하여 적용하고 있다. 그림 8은 접지체 접속의 다양한 형태이다.



(a) 나동선-나동선 용접



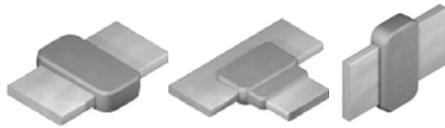
(b) 나동선 접지봉 용접



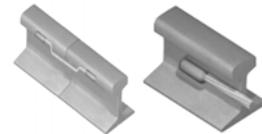
(c) 나동선 철근 용접



(d) 나동선 철판 접속



(e) 동부스바-동부스바 용접



(f) 나동선 레일 접속

그림 8 접지체 접속형태

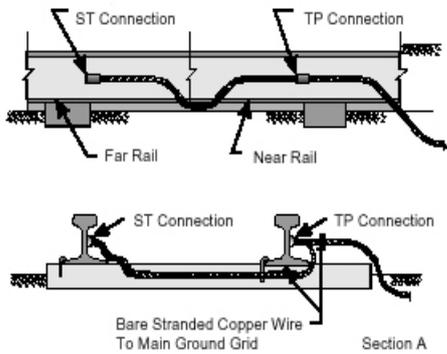


그림 9 나동선 레일 접속

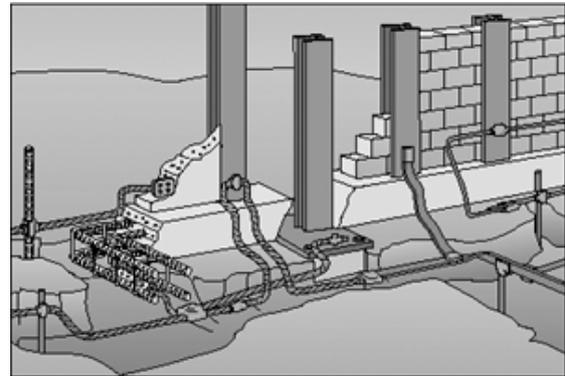


그림 10 건설현장 테르밋 용접 적용 사례

6. 결론

테르밋 용접 방식은 분자적으로 결합되는 장점으로 접속이 느슨해지거나 부식되지 않으며 가혹한 환경에서도 접속부위의 내구성이 원래의 도체와 동등 이상으로 유지되며 접속으로 인한 저항 값의 증가가 없다. 또한 대규모 접지설비에 있어서 일반적인 압착식 방법에 비하여 30-40%의 자재비 절감효과가 있다. 테르밋 방식의 또 다른 장점은 작업이 용이하고 외부 에너지가 필요치 않아 산 정상과 같이 독립된 장소에서도 작업이 가능하고 작업성이 좋아 설치비가 절감되는 효과가 있다. 따라서 테르밋 용접방식은 브레이징이나 표면으로만 접촉되는 클램프 또는 압착식 접속방식에 비하여 우수한 접속방식으로 각종 건물과 전기설비의 접지체 접속에 효율적으로 적용될 수 있을 것이며 철도 설비에 있어서도 접지는 물론 우수한 기계적 전기적 연속성으로 궤도 회로의 접속에 다양하게 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. IEEE(1989), "Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding", IEEE Std. 837-1989
2. IEEE(1986), "Guide for Safety in AC Substation Grounding", IEEE Std. 80-1986
3. "한국전력 변전설계기준", DS-2601-2007
4. "Process of making Exothermic Welded Connections", ERICO A6X May 5,1993