

자동전격방지장치 성능향상에 관한 연구 (I)

1991. 12



한국산업안전공단
산업안전보건연구원
INDUSTRIAL SAFETY AND HEALTH RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “산재예방 연구개발” 사업의 일환으로 수행한 “자동전격방지장치 성능향상에 관한 연구(I)”의 최종보고서로 제출합니다.

1991. 12

주관연구부서 : 산업안전보건연구원

기계전기연구실

연구책임자 실 장 이관형

연구수행자 연구원 이형수

참여연구자 연구원 최상원

목 차

제 1 장 서 론	3
1. 연구 목적	3
2. 연구 기간	5
3. 연구범위 및 내용	5
제 2 장 교류 아아크 용접장치의 개요	7
1. 아아크 용접기 개요	7
1.1 아아크 용접기의 분류	7
1.2 직류 아아크 용접기와 교류 아아크 용접기의 장단점 비교	8
1.3 아아크와 전원의 전압전류 특성	9
2. 아아크의 안정과 용접봉 용융속도	12
2.1 전원특성과 아아크안정	12
2.2 교류 아아크의 안정	14
2.3 용접 아아크의 특성	16
3. 교류 아아크 용접기의 이론적 고찰	18
3.1 교류 아아크 용접기의 구조, 외부특성곡선과 전류의 조정	18
3.2 교류 아아크 용접기의 제특성과 실패	23
3.3 교류 아아크 용접기의 여러가지 형식	31
3.4 아아크 용접작업에 있어서의 전격 위험성	35
4. 자동전격방지장치 이론	36
4.1 자동전격방지장치 동작원리	37
4.2 기타 부속장치	39

제 3 장 자동전격방지장치 성능검정 현황	43
1. 자동전격방지장치 제조업체 실태	43
2. 자동전격방지장치 성능검정 현황	44
3. 성능검정에서 나타난 불합격 원인	49
4. 성능검정규격 개정내용	50
제 4 장 자동전격방지장치 부착 및 사용실태조사	52
1. 실태조사 개요	52
2. 조사대상	53
3. 조사방법 및 내용	53
4. 설문조사에 나타난 실태	53
제 5 장 자동전격방지장치 문제점과 대책	59
1. 제도상의 문제점과 대책	59
1.1 용접작업에서의 안전규정에 대한 각국의 제도 비교	59
1.2 제도상의 문제점과 대책	61
2. 자동전격방지장치 성능의 문제점과 대책	63
2.1 자동전격방지장치의 기능	63
2.2 자동전격방지장치 성능상의 문제점	65
2.3 기타 부속 장치의 문제점	69
2.4 유통상의 문제점	70
2.5 자동전격방지장치 성능상 문제점에 대한 대책	71
3. 용접작업상의 문제점과 안전대책	74
3.1 용접작업상의 문제점	74
3.2 안전작업상의 대책	75
제 6 장 결 론	78
참고문헌	80

제 1 장 서 론

1. 연 구 목 적

교류 아아크 용접기는 용접공정이 대부분을 차지하고 있는 조선업 뿐만 아니라 전업종의 사업장에서 널리 쓰이고 있는 위험기계중의 하나로 산업안전보건법 제33조 및 동법 시행령 제17조, 동법 시행규칙 제46조 ①항의 4에 의해 자동전격방지장치를 부착하도록 의무화되어 있다.

교류 아아크 용접기 사용으로 인한 재해는 감전 또는 전격이 원인이 되어 발생하는 추락 등으로, 주요 발생원인은 ①충전부에 노출된 홀더에의 접촉, ②협소한 작업공간에서의 용접봉이나 홀더에 접촉, ③용접기와 케이블 접속단자에의 접촉 등을 들 수 있다.

용접작업시의 중대재해에 대한 통계는 우리 연구원의 1988~1989년 2년간의 “주요산업 재해 분석보고서”에 의하면 1988년 전체 732건중 6건 발생하여 0.95%, 1989년 845중 9건(1.07%) 발생하였는데 이것은 용접장치(가스용접장치, 교류아아크용접기)에 의한 재해이므로 반드시 기인물이 교류 아아크 용접기에 의한 것이라고는 볼수 없으나 어느 정도 추정할 수는 있을 것이다. 또, 한국산업안전공단에서 조사된 중대재해 자료에 의하면 1990년 한해에 용접작업으로 인한 감전재해 사망사고가 5건 발생했다는 보고가 있다.

일본의 자료에 의하면 1961년 절연용 홀더와 자동전격방지장치의 보급을 분기점으로 용접작업시 감전사고로 인한 사망자 수가 현격한 차이를 보이고 있는데, 1959년부터 3년간은 연간 평균 39명의 사망자가 발생하였으나 그 이후는 (1926~1965년)연간 평균 16명으로 약 반으로 줄어들었으며, 1989년에는 감전사망자 44명중 용접작업으로 인한 사망자는 한명도 없는 것으로 나타났다.

또, 아아크 용접작업으로 인한 재해는 약 70%가 용접봉, 홀더에의 접촉으

로 인한 감전으로 분석되었다.

여기서, 여러 종류의 용접기중 감전의 우려가 있는 교류 아아크 용접기는 전사업장에 약 15여만대가 보급, 사용되고 있는 것으로 추정되며, 1989년에 새로 보급된 교류 아아크 용접기는 4,700여대로 전체 보급대수 15,100여대의 약 31%를 차지하고 있으나 산업체의 생산성 향상과 산업의 다양화로 차츰 탄산가스 용접기 및 저항용접기로 대체되고 있는 실정이다.

교류 아아크 용접기는 아아크의 안정관계상 용접상태에서는 아아크전압이 30V 정도로 낮아지는 수하특성을 가지고 있으며, 용접휴지상태에서는 약 80V정도가 되는데, 이 무부하시가 위험한 상태로 이때에 용접작업자가 홀더의 충전부분이나 용접봉 등에 접촉되면 감전재해가 발생한다.

이러한 감전의 위험을 방지하기 위하여 고안된 안전장치가 자동전격방지장치로서 노동부 고시 제91-50호의 위험기계기구 방호조치기준 제15조에는 “아아크 발생이 중단된 후 1초이내에 교류 아아크 용접기의 출력측 무부하전압을 자동적으로 25V이하(전원전압의 변동이 있을경우 30V이하)로 강하시켜야 한다.”라고 규정되어 있다. 이러한 이유로, 교류 아아크 용접기에 자동전격방지장치를 부착하도록 의무화한 것은 1987년 노동부고시 87-46호에 의한 전격방지기 규격이 제정되면서부터 였는데, 자동전격방지장치의 성능이 미흡하여 용접시 많은 문제점이 노출되고 사업장에서 부착을 기피하는 등 제도상의 안전을 고려한 강제성과 현실사이에 끊임없는 괴리와 모순을 노중하여 왔다.

특히 많은 교류 아아크 용접기를 사용하는 조선소에서는 작업환경이 바닷가에 위치해 있고 도전성이 높은 철구조물을 용접하며, 작업장소가 다양하며 전원방식이 다양한 등의 이유때문에 전격방지기의 구조적 취약성과 전기적 특성의 변화로 용접현장에서 지속적으로 문제점이 노출되어 왔으며, 건설업 역시 전원공급이 임시적이고 습기 많고 전기적으로 취약한 작업장소의 이동 등으로 항상 감전위험이 잠재되어 있으나 상기한 성능상의 미흡함 이외에 용접현장의

관리적, 교육적 원인과 작업자의 안전의식 부족 등에 기인한 많은 문제점이 지적되어 왔다.

따라서, 상기한 여러요인으로 인한 용접작업시의 감전위험을 방지하기 위해 자동전격방지장치는 교류 아아크 용접기의 방호장치로서 가장 유효한 것임에는 의심의 여지가 없다 하겠다.

그럼에도 불구하고 현재까지 사업장에서 부착을 기피하고 있는 문제점의 근본적인 접근과 정확한 해결책을 제시하기 위하여 교류 아아크 용접기 사용 사업장의 실태를 조사하고 그 결론의 도출을 제1차 년도의 연구목적으로 삼았다.

아울러 제2차 년도인 1992년에는 제1차 년도의 연구결과를 토대로 여러가지 문제점중 가장 근본적으로 해결해야 할 자동전격방지장치의 성능향상을 연구목표로 설정하고자 한다.

2. 연구기간

제1차 년도 : 1991. 1. ~ 1991. 12

제2차 년도 : 1992. 1. ~ 1992. 12

3. 연구범위 및 내용

교류 아아크 용접기 사용사업장의 용접현장 실태조사를 통하여 단편적으로 제기되었던 문제점들을 체계적으로 정리하고 이를 제도상의 문제, 자동전격방지장치 성능상의 문제, 용접작업자의 안전의식, 교육적 문제점으로 나누어 분석하였으며 이러한 문제점들에 대한 해결방안을 제시하고자 하였다.

실태조사는 전사업장을 대상으로 하는것이 가장 바람직하나 현실적으로 불가

능하여 용접공정이 가장 많고 현실적으로 드러난 문제점들이 집약적으로 노출되고 있는 조선소를 그 대상으로 하였으며, 특히 자동전격방지장치 성능상의 문제점은 사용업체, 제조업체 그리고 우리 연구원의 성능검정 담당자와 집중적인 연구를 하였으며 보다 성능이 향상된 자동전격방지장치의 개발을 통한 근원적 안전성 확보를 위한 연구토대로 제시하고 한다.

제 2 장 교류 아아크 용접장치의 개요

1. 아아크 용접기의 개요

1.1 아아크 용접기의 분류

(1) 전원에 의한 분류

- ① 직류아아크 용접기
- ② 교류아아크 용접기

(2) 원동기에 의한 분류(직류기에 대하여)

- ① 정류기식 직류 아아크 용접기(3상 교류 전동기 또는 직류 전동기를 원동기로 한것)
- ② 전동 발전기형 아아크 용접기(야외작업에서 전원이 없는 경우 사용되는 것)
- ③ 엔진 구동형 아아크 용접기

(3) 용접기 외부특성곡선에 의한 분류

- ① 수하특성형 변압기
- ② 정전압형 변압기
- ③ 상승특성형 용접기(보통 정전압형에 포함)

(4) 용접방법에 의한 분류

- ① 금속 피복 아아크 용접기(Coated metal arc welder)
- ② TIG 용접기(Tungsten inert gas arc welder)
- ③ MIG 용접기(Metal inert gas arc welder)
- ④ CO₂ 용접기(Carbon arc welder)
- ⑤ 스타트 아아크 용접기(Stud arc welder)
- ⑥ 아크 스폿 용접기(arc spot welder) 등

피복봉을 사용하는 수동용접은 아아크의 안정상 전원은 수하특성이 필요하지만 지름이 가는 소모성 전극에 대전류를 흘려서 하는 자동(반자동)용접에는 정전압 특성의 전원이 유리하다.

1.2 직류 아아크 용접기와 교류 아아크 용접기의 장단점 비교

－ 용접목적에 따른 용접기 특성 개요

(1) 溶着鋼의 성질에 미치는 영향

교류로 아아크를 발생시키면 전류가 1초동안 60회 交番하여 아아크 발생부 공간에는 1초에 $60 \times 2 = 120$ 회 팽창·수축하며, 이로 인해 부근의 공기는 급격히 움직이고 이 때문에 용융금속중의 산소, 질소가 침입하여 열화되는 경향이 직류보다 강하다. 이런 점에서 교류가 직류보다 약간 못한 편이다.

(2) 교류 아아크의 불안정

교류전원이 아아크 재점호시 불안정한 결점은 피복봉에 안정제를 혼입하면 보상되나 裸棒을 사용하는 자동용접에서는 문제가 있다. 아아크의 불안정은 무부하전압(전원전압)을 높게 하면 어느 정도 보상되나 전극의 위험성이 있다.

(3) 극성효과의 이용

용접 아아크현상은 전류의 극성에 따라 다르다. 직류에서는 극성효과를 이용할 수 있으나 교류에서는 이용할 수 없다.

(4) 磁氣쏠림

아아크의 자기쏠림(Magnetic arc blow)현상은 용접작업에 방해할 주는데, 직류에서는 이 현상이 민감하고, 교류 아아크는 작업에서 유도된 와류에 의해 영향이 적다.

(5) 용접기의 가격, 보수

교류 아아크 용접기는 변압기가 주체이므로 직류기에 비해 구조가 견고하고 가격이 싸며 보수도 간단하다. 따라서, (1), (2)의 결점은 양질의 피복봉이 개발됨에 따라 실용상 문제가 없으므로 교류 아아크 용접기가 널리 쓰이고 있다. 이상을 정리하면 표 2-1과 같다.

표 2-1 교류 아아크 용접기와 직류 아아크 용접기의 특징 비교

비 교 항 목	직 류 용 접 기	교 류 용 접 기
아아크의 안전성	우수하다	좋지않다
전력의 위험성	적 다	많 다
극성변화의 선택	가 능	불 가 능
자기쉴림 방지	불 가 능	가 능
무부하 전압	약간낮음	높 음
구 조	복 잡	간 단
역 륵	양 호	좋지않다
유지보수	어 렵 다	간단하다
가 격	비 싸 다	싸 다

1.3 아아크와 전원의 전압전류 특성

그림 2-1은 아아크 길이(음극·양극간 간격)를 일정(L_1 , L_2)하게 하고, 전류 I와 아아크 단자전압을 변화시킬 경우 전류 I와 아아크 단자전압 E_a 와의 관계곡선이다.

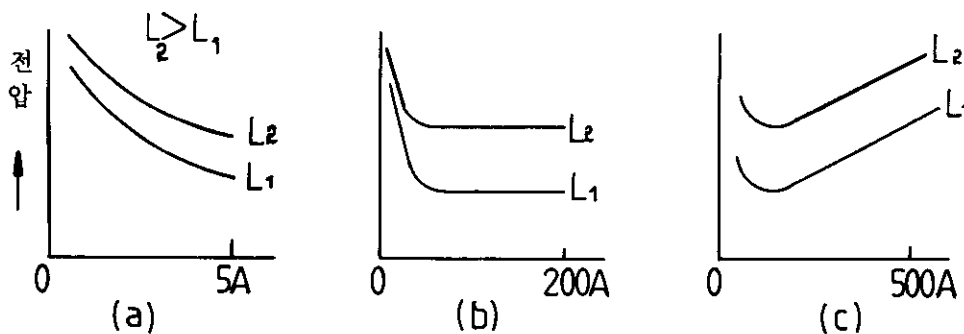


그림 2-1. 아아크의 전압·전류 특성

위 그림 (a)는 소전류(5A 정도)에서는 I 가 증가하면 E_a 가 감소되는데 이를 아아크의 負性抵抗 特性이라 한다. (c)는 지름이 가는 봉에 대전류를 흘릴때(MIG, 탄소가스, 아아크용접 등), I 가 증가하면 E_a 가 증가하며 이를 정특성이라 한다. (b)는 수동용접의 경우로 아아크 길이를 일정하게 하면 전류가 광범위하게 변하여도 E_a 는 거의 변화하지 않는다. 그런데, 용접기 부하로 아아크 대신 저항을 사용하여 이 저항값 R 을 변화시켜 전류를 변화시켜 보자. R 을 감소시키면 당연히 I 가 증가하므로 I 와 단자전압 $E_s(E_s = I \cdot R)$ 와의 관계를 구하면 그림 2-2의 실선과 같은 2가지 형태가 된다. (b)는 출력전류 I 가 변해도 단자전압이 거의 변하지 않는 정전압 특성(Constant potential characteristics)의 전원이고, (a)는 I 가 증가하면 E_s 가 현저히 떨어지는 수하특성(垂下特性; Dropping characteristics) 전원이다.

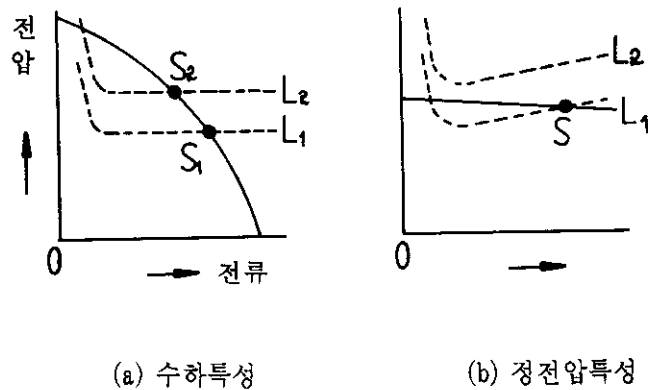


그림 2-2. 외부특성곡선과 아아크의 동작점

이러한 전원에서 $E_a - I$ 의 관계곡선을 외부특성곡선(External characteristics)이라 하며, E_a 에 내부저항에 의한 전압강하를 더한 E_{to} 와 I 의 관계곡선을 내부특성곡선이라 한다.

그림 2-2의 점선은 그림 2-1의 특성곡선으로, 실선과의 교점은 전원전압·전류의 관계와 부하(아아크) 전압·전류관계를 동시에 만족하는 것으로 이 점에서 아아크가 안정되게 발생한다.

처음에 아아크 길이 L_1 에서 동작점이 S_1 이 될때 어떤 원인으로 아아크 길이가 늘어나 L_2 가 되면 (a)에서 동작점은 S_2 로 이동하고, (b)에서는 교점이 없으므로 아아크가 소멸되려 한다. 이 때문에 수동용접에서는 수하특성이 필요하다. 그러나, 가는 용접와이어에 대전류를 흐르게 하는 자동용접에서는 와이어가 빠르게 공급되어 아아크 길이의 변동을 신속히 보상하므로 정전압 특성이 적합하다. 수하특성은 그림 2-3의 (a), (b)와 같은 곡선이 쓰이는데 (a)는 아아크 길이가 변동하여 동작점이 $S_1 \rightarrow S_2$ 로 변동하여도 용접전류는 거의 변하지 않는다. 이를 정전류 특성이라 한다.

(b)의 특성에서 동작점이 Q부근에 있으면 전압 E_a 와 I 의 積, 즉 출력이 최대가 되고, 동작점이 Q에서 아래위로 약간 변동해도 전력은 거의 변화하지 않으며 이를 정전력 특성이라 한다.

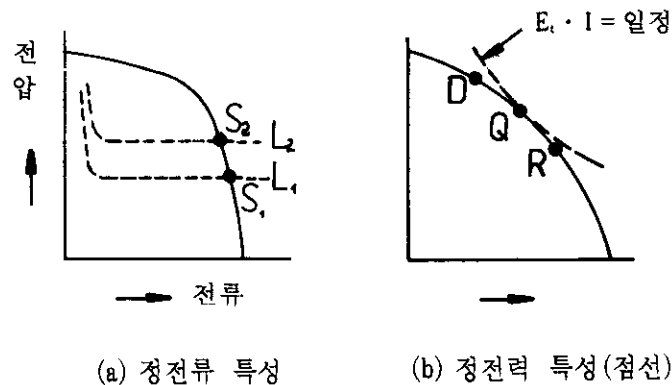


그림 2-3. 정전류 특성과 정전력 특성

2. 아아크의 안정과 용접봉 용융속도

2.1 전원특성과 아아크 안정

아아크의 안정여부는 전원특성에 따라 영향을 받으므로 전극은 예를 들어 텅스텐 전극봉과 같이 소모되지 않고 아아크 길이가 일정하게 되는 경우를 보자.

그림 2-4에서 실선 PQST는 직류전원의 외부특성곡선, 점선은 일정 아아크 길이에 대한 직류 아아크 전압·전류특성이다. 따라서, Q, S의 2개의 교점이 있는데 Q점은 불안정 동작점으로, 실제로는 S점에서 아아크가 발생한다.

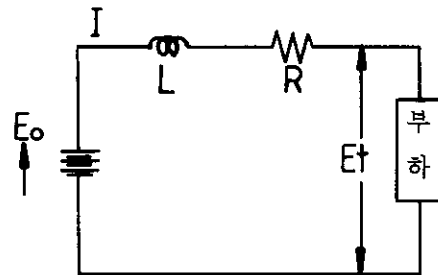
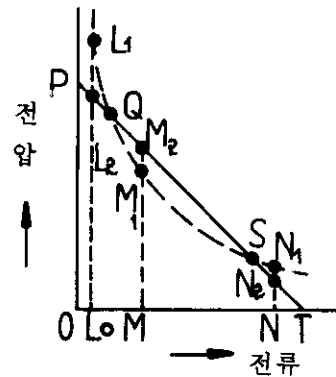


그림 2-4 아아크의 동작점 그림 2-5 수하특성을 갖는 회로

그림 2-4와 같은 직선인 외부특성곡선을 얻기 위한 회로가 그림 2-5과 같다. 그림 2-5에서 E_0 는 축전지같은 일정한 기전력의 전원, R 은 직렬저항, L 은 회로의 인덕턴스이다. 전류 I 가 흐르면 $I \cdot R$ 의 전압강하가 생기고, 부하단자에는 (인덕턴스 L 의 유도성분은 생기지 않으므로) $E_L = E_0 - I \cdot R$ 의 전압이 되어 그림 2-4의 PQST와 같은 직선이 되는데, 가령 Q점에서 아아크가 발생하였을때 어떤 원인으로 아아크 길이가 순간적으로 짧아져 전압이 약간 낮아졌다고 가정하자.

부하전압이 감소하면 당연히 전류가 증가하므로 동작점 Q보다 전류가 약간 증가한 상태를 고려하면 $\overline{OM_0}$ 이 되고 이때 아아크 길이가 원상으로 되면 $\overline{OM_0}$ 에 대한 아아크 전압은 $\overline{M_0M_1}$ 이 된다.

이에 대해, 정상상태의 전원전압은 $\overline{M_0M_2}$ 이므로 나머지 $\overline{M_1M_2}$ 는 인덕턴스 L 에 관계되어 전류는 증가한다.

다음에 Q의 동작점에서 아아크가 순간적으로 길어져 아아크전압이 높아진 경우 동작점은 M_1, M_2 대신 L_1, L_2 가 되고 이때 아아크가 정상으로 되어도 전류 $\overline{OL_0}$ 에 대한 아아크 전압은 전원전압보다 높아 전류는 감소하여 0이 된다.

즉, 처음 Q점에서 아아크가 발생하여도 약간의 변동이 있으면 동작점은 S로 이동하여 소실된다.

처음의 동작점이 S에 있는 경우는 아아크 길이가 순간적으로 짧아져 아아크 전압이 감소하면 전류는 증가하므로 N_1, N_2 상태에서는 아아크 전압이 전원의 공급전압보다 높고, 아아크 길이가 원상회복되면 S점에 되돌아온다.

아아크 특성이 그림 2-1(c)와 같은 경우 정전압 특성의 전원에도 동작점은 S_1 이 되고, 안정 동작점에 있게 된다. 그러나, 실제로 아아크는 전극간의 기하학적 길이가 일정하게 유지되어도, 아아크의 음극점,

양극점은 때에 따라 불규칙하게 전극표면을 이동하여 실질적인 아아크 길이의 변동이 생긴다.

이상의 설명은 TIG 아아크와 같은 비소모성 전극을 전제로 하였으나 수동용접의 경우인 潛弧용접의 경우에도 같은 수하특성의 전원을 필요로 한다.

2.2 교류 아아크의 안정

교류 아아크의 경우에도 아아크의 안정을 위하여 수하특성이 필요하며, 교류에서는 이외에 再點弧에 관한 문제가 있다.

교류 아아크는 전원 주파수의 반사이클마다 극성이 변한다. 전자는 음극부에서 방출되는데 텅스텐 전극의 경우 열전자가 풍부하게 방출되나, 연강전극 등은 전자가 부족하여 이로 인해 전류의 순시치가 영을 지나가는 새로운 아아크가 있을때의 아아크 전압은 그림 2-6(a)의 P점처럼 높다. 예를 들면, 황동을 전극으로 사용하는 경우의 아아크는 Q점의 전압이 20V정도에도 P점은 200V를 넘는다.

공기중의 鐵아아크에는 P점 전압이 기껏해야 30~70V정도로, 피복봉에 따라 다르고 전류값에 따라 다르다.

보통 교류 아아크 용접기는 리액턴스에 의해 수하특성이 주어지므로 전원전압 e_s 와 전류의 위상차, 즉 전류가 뒤진다. 그림 2-6 (b)는 아아크 부하의 경우 관계를 나타낸다. 아아크 전압 P에 대응하는 전원전압은 P_0 이고, P_0 와 P의 차가 전류를 상승시키는 원동력이다.

만약 P값이 P_0 보다 높으면 전류는 증가하고 아아크는 소멸한다.

P와 같은 높은 전압이 계속되면 짧은 기간이라도 이를 극복하기 위한 높은 무부하 전압이 필요하게 된다.

이상에서 볼때 아아크의 안정도는 용접기의 역률과 관계가 있다.

무부하전압 e_0 가 같아서 역률이 좋은, 가령 내부저항이 큰 용접기에서
 는 전원전압 e_0 에 대한 전류 i 의 뒤진 위상각 ϕ 가 작게 된다. [그림 2-
 7의 (a), (b) 비교]

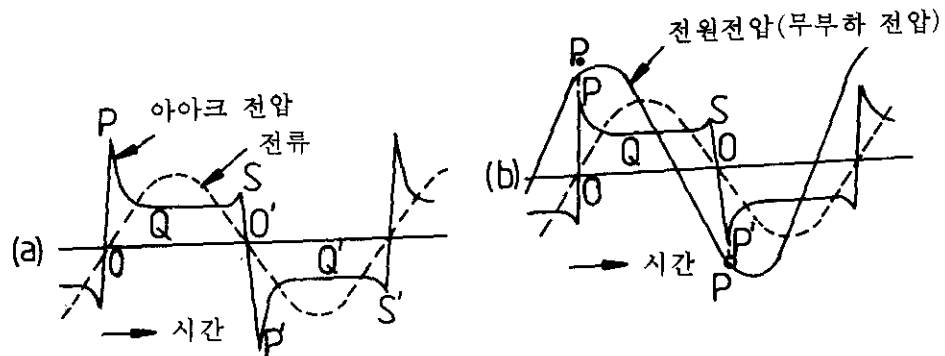


그림 2-6. 교류 아아크의 전압파형과 전원전압

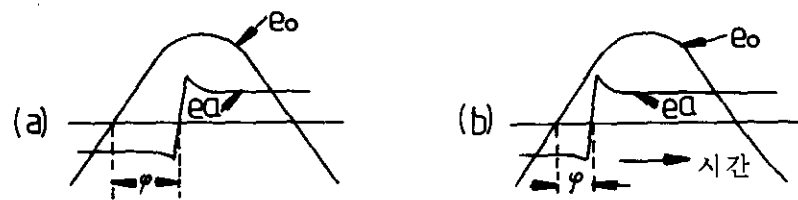


그림 2-7. 역률각 ϕ

따라서, 아아크의 동일 재점호 전압에 대해 전원전압의 순시치 e_o 가 그림(b)와 같이 낮게 되므로, 아아크의 재점호는 불리하게 된다. 내부 저항이 큰 것은 내부손실을 크게하여 전력손실을 크게할 뿐만 아니라 아아크도 불안정하게 된다.

내부저항이 극단적으로 큰 경우로, 회로에 리액턴스가 없는 직렬저항만으로 수하특성을 갖는 전원에서는 전류와 전압의 위상이 같다. ($\phi=0$) 이와 같은 전원은 단순히 전력손실이 클 뿐만 아니라 아아크의 안정이라는 점에서 실용성이 없다. 이상과 같이 교류아아크의 안정은 아아크의 소멸시 전원전압의 순시치 P.점에서 높을수록 좋으므로 이것은 정특성이라 말해야 적절하나 실제로는 동특성을 고려할 필요가 있다.

2.3 용접 아아크의 특성

(1) 아아크의 전압·전류특성

이것은 그림 2-1에서 설명한 바와 같다.

(2) 음극강하, 양극강하, 아아크주 강하

그림 2-8은 2개 전극간의 아아크로서, 아아크전압 E_a 는 음극강하, E_k , 아아크柱 강하 E_p , 양극강하 E_A 의 합으로 생각할 수 있다.

전류를 I 라하면, $P_a = E_a \cdot I = (E_a + E_p + E_A) \cdot I$ 는 아아크에 공급되는 전력으로 열로 변환된다. 여기서 $E_p \cdot I$ 는 아아크주로 발생되어 고온으로 된 아아크주 가스의 열손실과 평형이 된다.

주위가스로서 수소를 사용하면 아아크의 고온에는 분자가 원자모양으로 분리되고 질량이 가벼워져 운동속도가 빠르므로 아아크주로부터의 열손실이 크고 이를 보상하기 위해 일정 아아크 길이에도 E_p 는 크게 된다. 이에 비해 알곤가스는 질량이 커서 열운동 속도가 낮기 때문에 손실이 작아 E_p 도 작다.

E_p 는 아아크 길이에 비례하여 변화하므로 E_A , E_k 는 이에 따라 영향을 받지 않는다고 생각된다.

E_k , E_p , E_A 는 전류 I 에 따라서도 다른데, E_k - I 특성이 그림 2-1(a)와 같이 負특성이 되는 것은 E_k , E_p , E_A 전부 負특성이 있기 때문으로 생각되고 (c)와 같이 상승특성이 되는 것은 플라즈마 기류의 발생에 따라 E_k 가 상승하기 때문이라고 생각된다.

E_k 는 전극재료에 따라 큰 차이가 있으므로 E_A 는 전류가 작지 않으면 $E_A=0$ 이라고 생각된다.

텅스텐 전극을 음극으로 사용하는 경우 정상 아아크 발생상태에서는 음극단은 고온이 되고 열전자를 방출하여 이로인해 E_k 는 작게 된다. 아아크 기동 직후에서는 전극이 가열되지 않은 상태에서는 열전자 방출은 없고, 음극강하부의 전자가 부족하여 E_k 는 크게 되고 이에 따라 음극에서 전자가 방출되기 쉽도록 움직인다.

동, 철, 알루미늄 등은 냉음극형이라고 하며 열전자의 방출이 미약하여 일반적으로 E_k 는 높다. 따라서 전극에 다소의 산화물 등이 있으면 얼마간의 열전자 방출능력이 커져서 교류 아아크의 재점호(그림 2-6의 P부근) 전압·전류특성에 큰 영향을 미쳐 아아크의 안정을 좌우한다.

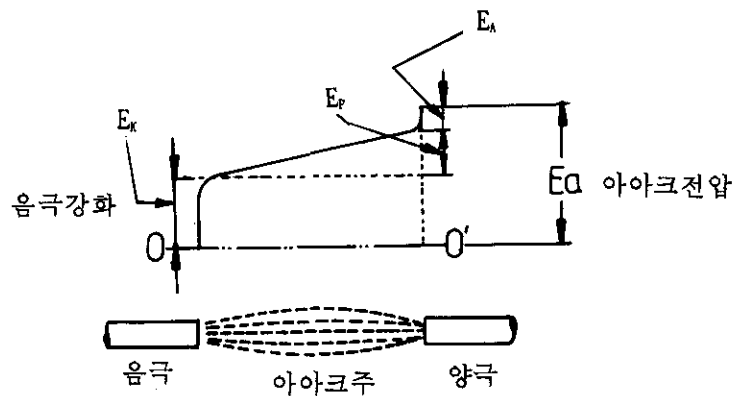


그림 2-8 아아크의 전위 분포

3. 교류 아아크 용접기의 이론적 고찰

3.1 교류 아아크 용접기의 구조, 외부특성곡선과 전류의 조정

(1) 교류 아아크 용접기의 구조

그림 2-9는 현재 사용되고 있는 대표적인 교류 아아크 용접기의 구조를 나타내고 있다. 1차권선과 2차권선이 있는 것은 보통의 전력용 변압기와 다를바 없으나 그림과 같이 가동철심 M_3 가 있고, 1차, 2차권선은 M_3 를 사이에 두고 위치해 있다.

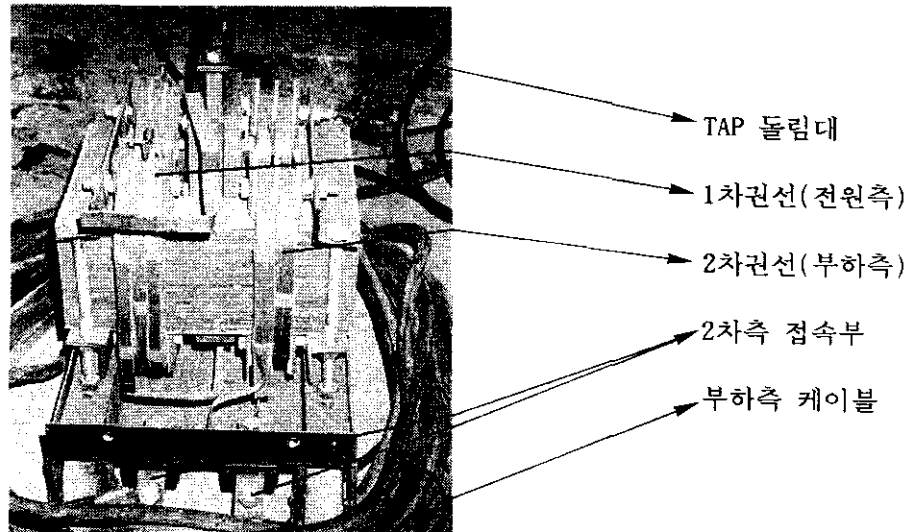


그림 2-9 교류 아아크 용접기의 구조

일반 전력용 변압기에는 2차권선에 부하전류가 흐를때 출력 2차단자 전압의 변화가 적은 정전압 특성이 있으나, 아아크 용접용 변압기에서는 아아크의 안정관계상 2차 단자전압은 무부하시 80V정도 이므로, 부하전류가 흐르는 아아크 전압이 약 30V 정도 낮아지는 수하특성을 가지고 있다.

이와 같이 부하전류가 흐를때 2차 단자전압이 낮아지는 수하특성은

변압기 내부의 누설 리액턴스의 크기에 따라 얻어지므로, 이를 위해 1차, 2차 권선사이에 누설자속이 통하도록 철심 M_3 을 설치하여, 누설리액턴스의 크기를 조정함으로써 출력전류를 조정할 수 있다.

그림 2-10의 (a)는 그림 2-9를 간략화한 것으로, 부하시에는 M_1 을 통과한 자속이 거의 전부 M_2 를 통과하여 2차 권선에는 권수비에 따른 무부하전압이 유도된다.

부하전류가 흐르면, M_1 의 자속일부가 M_3 을 통하고, M_2 자속이 감소하여 2차유도전압에 따라 2차단자전압이 감소한다.

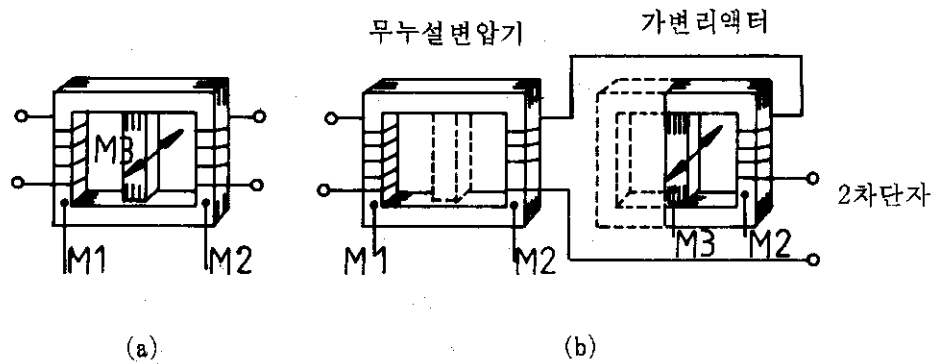


그림 2-10 교류 아아크 용접기의 동작

(2) 등가회로와 외부특성곡선

교류 아아크 용접기를 정량적으로 이해하기 위해서는 보통 변압기와 같은 등가회로가 사용되고 있다. 그림 2-11은 간략화된 등가회로인데 R_L 은 아아크 부하를 저항으로 바꾸어 놓은 것이며, r, x 는 용접 변압기의 내부저항과 내부리액턴스, Z_0 는 여자임피던스이고, 편의상 2차로 환산하였다.

을 나타낸다.

P점은 무부하점이고, T는 단락점이다. 단락전류는 식(1)에서 $R=0$ 이므로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I_{2s} = \overline{OT} = \frac{E_{20}}{x} \quad (2)$$

위에서 내부저항(r)에 의한 전압강하를 부하단자전압에 포함하여 생각하므로 $r \cdot I_2$ 가 그림(c)의 OZ직선상에 있다면, 실제 부하 단자전압 $I_2 \cdot R_L$ 의 원의 높이에서 OZ직선의 높이를 빼면 점선을 표시한 곡선 PQ 'S'T'가 된다. T'점이 단락전류의 절대값은

$$I_{2s} = \frac{E_{20}}{\sqrt{r^2 + x^2}} \quad (3)$$

여기서는 이상적인 단락전류 $I_{2s} = \overline{OT}$ 와 무부하전압 $E_{20} = \overline{OP}$ 를 같은 크기로 표시할때 원이 되나 실제로는 곡선의 기본형이 원이 아니고 타원이 된다.

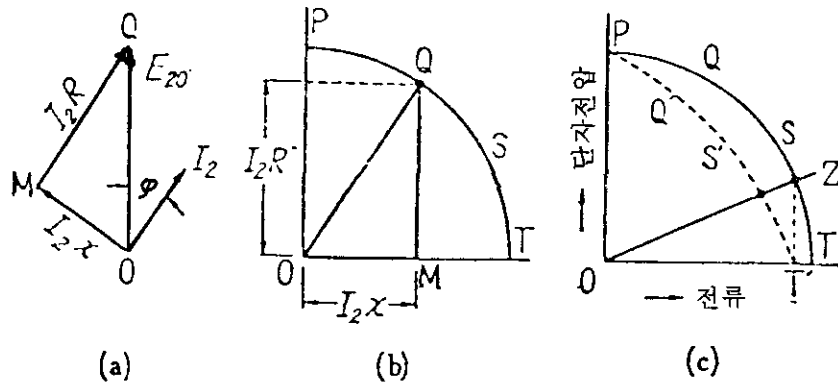


그림 2-12 외부특성곡선의 설명도

(3) 단락비

그림 2-12(c)의 외부특성곡선에서 무부하전압($\overline{OP}$)은 보통 80V정도이고, 아아크 전압은 30V정도이다. 따라서, 아아크 발생상태의 동작점은 그림의 S'점 정도이고, 이 경우 전류는 단락상태의 전류($\overline{OT'}$)보다 작다.

단락비 = $\frac{\text{2차 단락전류}}{\text{아아크부하시 2차전류}}$ 로 나타내며, 이 값은 E_{20} 와 아아크전압과의 상대값에 따라 다르고, 내부저항에도 영향을 받는다.

그림 2-13은 단락비의 계산결과를 나타낸 것으로, K 는 $K = r/\sqrt{r^2 + x^2}$ 의 관계로, 용접기의 단락시 역률에 해당하며 보통효율에서는 $K=0.05$ 정도, 나쁜 경우에는 $K=0.015$ 정도된다. 예를 들어, 그림(a)의 $K=0.1$ 에서 $E_{20}=65V$ 의 용접기는 단락전류가 정격 부하전류의 약 1.2배이고, $E_{20}=90V$ 에서는 약 1.1배이다.

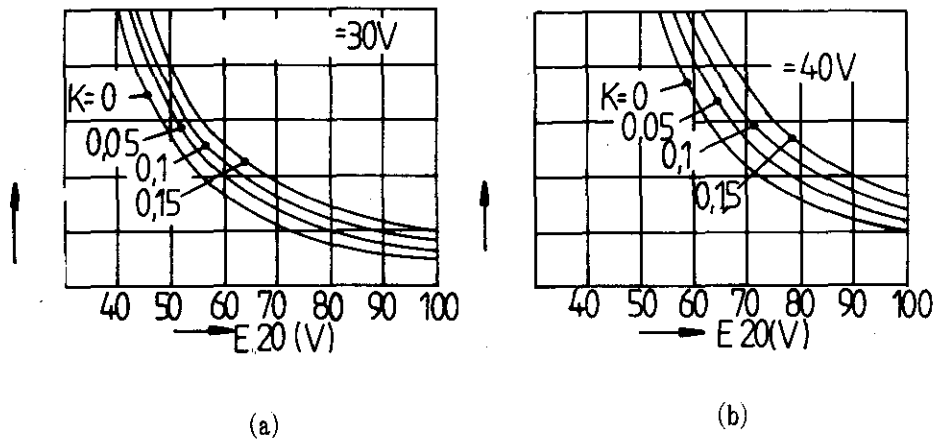


그림 2-13 단락비

일반적으로 단락비는 E_{20} 가 낮을수록, 내부저항이 높은 용접기일수록 크고, 아아크 전압이 높을수록, 출력전류가 클수록 큰 값이 된다.

(4) 전류 조정방법

용접기는 1대에 여러가지 작업을 위해, 용접전류는 보통 최소한 30~100% 변화하도록 되어 있다. 용접전류는 식 (1)에서 구해지는데, I_2 를 조정하는 것은 E_{20} , r , x , R_L 을 조정하면 된다. 그러나, 작은 전류에는 아아크가 불안정하게 되므로, 이 대책으로 무부하전압 E_{20} 를 크게하는 정도이므로, 전류 조정목적으로 직접 E_{20} 를 이용할 수는 없다. 또, 아아크 등가저항 R_L 은 별도로로서, 전류조정을 위해 직렬저항을 사용하는 것은 용접기의 손실을 의미하므로, 아아크 안정율의 측면에서도 좋지 않다.

전류조정은 오로지 리액턴스 x 를 조정하여 하는데, 이의 조정은 그림 2-10 (b)에서 가동철심 M_3 을 이동함으로써 가능하다.

3.2 교류 아아크 용접기의 제특성과 실험

(1) 특성 실험

교류 아아크 용접기의 특성을 설명하기 전에 실제 데이터의 일례를 보자.

용접기 용량 : 정격 2차전류 300A

부하전압 35V

정격입력 : 24.5KVA, 12.9kW

역률 53%

정격사용율 : 40%

전원전압 : 200V, 60c/s, 1Φ

전류조정범위 : 40~300A 가동철심형

1차, 2차권수 : $n_1 = 76$, $n_2 = 30$

2차 출력 : $(300A \times 35V)$ 10.5kW

효율 81.5%

무부하 전손실 : 2.4kW

무부하손실 : 335W

무부하전압 : 78~68V

(권수비에 의한 계산치는 78.9V)

그림 2-14, 2-15, 2-16은 용접기의 각 특성을 나타내고 있다.

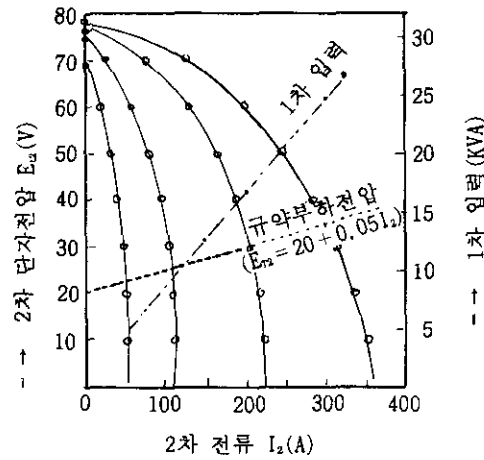


그림 2-14 교류 아아크 용접기 외부특성의 예

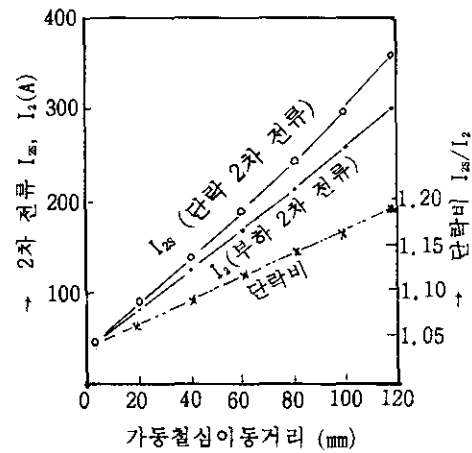


그림 2-15 가동철심의 이동거리와 출력전류 I_2 , 단락전류 I_{20} 의 관계

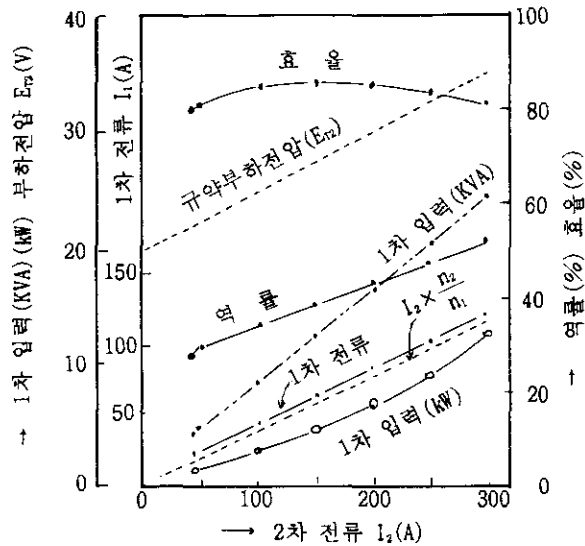


그림 2-16 규약 부하 전압에 대한 입력, 역률, 효율

(2) 무부하 전압

앞의 용접변압기에서 1차, 2차권선의 권수는 $n_1=76$, $n_2=30$ 이므로, 2차 무부하 전압은 $E_{20} = \text{전원전압} \times \frac{n_2}{n_1} = 200 \times \frac{30}{76} = 78.9\text{V}$ 가 된다. 그림 2-14의 실측치는 78~68V로, 계산치보다 낮은 것은, 그림 2-10(a)의 철심 M_1 을 통한 자속이 전부 M_2 로 흐르지 않고, 일부가 무부하에서도 철심 M_3 을 통과하고 있다. M_3 을 흐른 자속은 M_3 의 공극이 작을수록 크게 되고, 전류가 적게 흐르도록 M_3 을 이동하면 누설자속이 증가하여, 그림 2-14에서와 같이 무부하 전압이 작게 된다.

(3) 1차 피상입력

그림 2-11의 등가회로에서 여자전류를 무시하면, 1차 피상입력 = 정격 2차 전류 $\times$ 무부하 전압 $= I_2 \cdot E_{20}$ (4)가 된다.

(4) 손실

부하상태에서 변압기간에 발생하는 손실은 동손과 철손이다.

철손은 주철심 전부를 관통하는 주자속에 의한 손실로, 보통 전력용 변압기에서는 무부하시와 부하시의 자속분포가 거의 같으므로 이 철손은 무부하손과 큰 차이가 없다. 그러나 누설변압기에서는 상당히 차이가 나므로 부하시에 오히려 작은 반면, 주자속이외의 철심, 권선, 외함 등을 부분적으로 관통하는 누설자속 때문에 전류손, 즉 표유부하손이 많이 발생한다.

$$\begin{aligned} \text{(1)에서의 예를 보면, 전손실} &= P_1 - P_2 = 12,900 - 10,500 = 2,400\text{W} \\ &= \text{동손(계산치)} + \text{철손(추정계산치)} \\ &\quad + \text{표유부하손(추정계산치)} \\ &= 1,320 + 170 + 910 \end{aligned}$$

단, P_1 : 입력, P_2 : 출력

(5) 효율, 역률

①교류 아아크 용접기의 효율

(1)항에 표시한 용접기 효율은 정격부하시 81.5%이다. 전력용 변압기에서는 이와 유사한 25KVA에서도 97.1%로, 양자간에는 차이가 있다. 이의 주원인은 누설변압기에는 부하시 단자전압이 무부하시보다 훨씬 낮고, 이 전압으로 효율을 나타내내기 때문이다.

$$\text{효율} = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} = \frac{I_1 \cdot E_{i2}}{I_2 \cdot E_{i2} + \text{손실}} \quad (5)$$

로 나타내므로, 만약 가동철심 등을 없애 리액턴스를 작게하여 E_{i2} 가 E_{20} 보다 크게 차이가 나지 않는 상태의 경우를 생각하면, 동일 부하전류 I_2 에 대해 비록 손실은 같아도 E_{i2} 는 35V(300A에 대한 규약 부하전압)대신 80V 가까이 되고, 효율은 좋게 된다.

효율이 낮은 다른 원인은, 구조적 측면에서 보면 누설자속으로 인한 표유부

하손이 크기 때문이기도 하고, 전력용 변압기가 연속정격인데 비해 용접변압기는 낮은 사용율의 단속부하 정격인 점에도 있다. 즉, 전부하시의 손실이 무부하시보다 크므로 용접기는 단속적으로 사용되어 온도상승 측면에서는 전부하시의 손실을 크게 하여도 지장없다.

이 때문에 연속정격이 전력용 변압기에 비해 전부하시 손실이 크게 설계되어 이것이 효율을 나쁘게 하는 원인이 된다.

② 효율과 역률의 관계

$$\text{효율} = \frac{\text{출력}[\text{kW}]}{\text{입력}[\text{kW}]}, \quad \text{역률} = \frac{\text{입력}[\text{kW}]}{\text{입력}[\text{kVA}]}$$

그러므로,

$$\text{역률} = \frac{1}{\text{효율}} \cdot \frac{\text{출력}[\text{kW}]}{\text{입력}[\text{kVA}]} = \frac{1}{\text{효율}} \cdot \frac{\text{부하 전압} \times I_2}{\text{무부하 전압} \times I_2} = \frac{1}{\text{효율}} \cdot \frac{\text{부하 전압}}{\text{무부하 전압}}$$

(6)

역률값이 큰 것은 전력계통에서는 좋으나, 아아크 용접기에 관련한 효율이 낮은 것을 의미하고, 아아크 안정이 나빠 전력비가 비싸게 된다.

(6) 사용율과 온도상승

① 사용율

아아크 용접기는 작업상 아아크발생시 용접기에 동손, 표유부하손이 발생하는 시기와 아아크가 발생치 않은 무부하에서 무부하손(주로 철손)만이 발생하는 시기가 교차하는 상태에서 사용된다.

사용율(Duty cycle)이라 함은 아아크 발생 시간대 전시간의 비로, 그림 2-17에서 아아크 기간 t_a 와 휴지기간 t_b (단, 무부하 손실은 발생)가 일정주기 $T_0 = t_a + t_b$ 로 교차하는 경우 다음 식으로 정의된다.

$$\alpha = \frac{t_a}{t_a + t_b} = \frac{t_a}{T_0} \quad (7)$$

이 사용율 α 가 실제 어느 정도 되는가는 작업현장에 따라 다르고, 조사시

간에 따라서도 다르다. 작업이 한창인 오전 10~11시의 1시간을 대상으로 하면 80% 넘는 것도 있으나, 1일 8시간을 대상으로 하면 40%를 넘지 않는다. 사용율은 아아크타임이라고도 하는데, 용접현장에는 작업능률의 관점에 관심이 있으므로 온도상승이 문제가 된다.

일정 부하전류에서 사용율 α 에 단속적으로 용접기를 사용할때 평균손실(발열)은 (무부하손실을 무시하면) α 에 비례하고, 평균온도 상승도 α 에 비례한다.

따라서, 용접기에 사용되는 전기절연물의 온도상승 제한 측면에서 온도상승 허용치를 일정하게 하면, α 가 낮을수록 허용손실은 크도 상관없다.

그러므로, 이와같은 저사용율의 용접기에는 철심재료를 절감하여 소형 경량으로 제작할 수 있고 가격도 싸다.

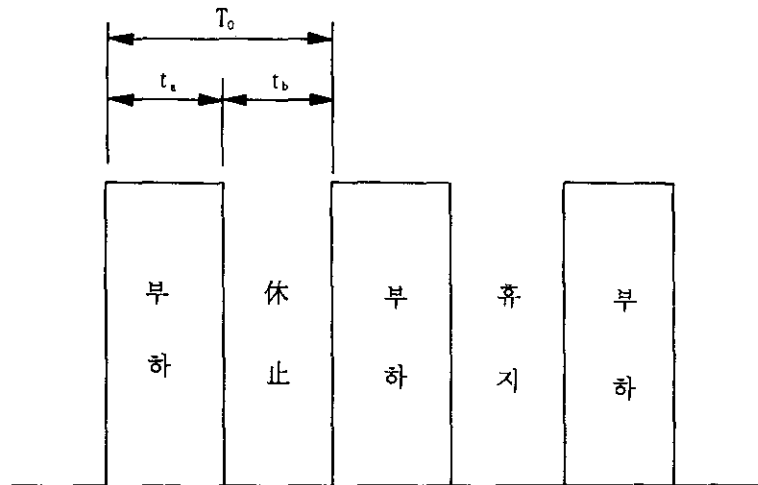


그림 2-17 斷續부하

② 온도상승

용접 변압기는 사용 절연재료가 파손되지 않도록 허용온도에 제한을 두도록 하고 있다. 최근에는 실리콘수지 절연이 사용되어 온도상승이 높아도 허용되도록 되었으며 그 결과 용접기는 소형화되고 표유부하손 등도 감소하였다.

온도상승에 대해 주의할 것은 단속사용정격으로 규정되어, 장시간에 걸쳐 연속적으로 전부하 전류가 흐르고 온도상승이 과대하게 되어 용접기를 소손시키고, 수명을 단축시키는 점이다.

용접기의 온도상승에 관한 열시간 정수는 약 1시간정도로, 전부하 전류가 흐를 경우에 1시간 정도의 평균사용을 정격치를 넘지 않도록 하여야 한다.

(7) 규격

표 2-2~3는 일반용 교류 아아크 용접기 및 소형 교류 아아크 용접기의 현행 KS규격을 나타내고 있다.

표 2-2. 일반용 교류 아아크 용접기의 규격(KS C 9602-1984)

종류	정격 2차 전류(A)	정 격 사용율(%)	정격부하전압		최고 2차 무부하전압(V)	2 차 전류		사용되는 용접봉의 지름(mm)
			저항강하(V)	리액턴스 강하(V)		최대치	최소치	
AW 200	200	40	30	0	85 이하	200 이상 220 이하	35 이하	2.0-4.0
AW 300	300	40	35	0	85 이하	300 이상 300 이하	60 이하	2.6-6.0
AW 400	400	40	40	0	85 이하	400 이상 440 이하	80 이하	3.2-8.0
AW 500	500	60	40	12	95 이하	500 이상 550 이하	100 이하	4.0-8.0

표 2-3 소형 교류 아아크 용접기의 규격(KS C 9624-1987)

종 류	정격2차 전류(A)	정격사용율 (%)	정격부하 전압(V)	최고 2차 무부하전압(V)	2차 전류(A)		사용되는용접 봉의지름(mm)
					최대치	최소치	
AWL-130	130	20	26.5	80 이하	130-143	40 이하	2-3.2
AWL-150	150		27.5		150-165	45 이하	2-4
AWL-180	180		29		180-198	55 이하	2.6-4
AWL-250	250		32.5		250-275	75 이하	3.3-5

또, 미국의 NEMA규격에서 발췌한 것이 표 2-4이다.

KS와 차이점은 KS규격에는 최대전류가 정격전류와 같은데 비해, NEMA 규격은 등급 I 은 정격전류의 125%, 등급 II는 110%의 과부하 전류를 인정하고 있는 점과 KS에서는 사용율이 1종류인데 NEMA규격은 3종류의 사용율을 규정하고 있는 점이다.

표 2-4 교류 아아크 용접기의 NEMA 규격(1971)

정 격 전 류		최 소 전 류		최 대 전 류	
전류(A)	전압(V)	전류(A)	전압(V)	전류(A)	전압(V)
Class I (사용율60%, 80%, 100%)					
200	28	40	22	250	30
250	30	50	22	312	32
300	32	60	22	375	35
400	36	80	23	500	40
500	40	100	24	625	44
600	44	120	25	750	44
800	44	160	26	1,000	44
1,000	44	200	28	1,250	44
1,200	44	240	30	1,500	44
1,500	44	300	32	1,875	44
Class II (사용율30%, 40%, 50%)					
150	26	30	21	165	27
175	27	35	21	193	28
200	28	40	22	220	29
225	29	45	22	248	30
250	30	50	22	275	31
300	32	60	22	330	33
350	34	70	23	385	36
Class III (사용율20%)					
180~230	25	정격전류의 1/6	20	정격전류와 같다.	
235~295	30	정격전류의 1/6	22	정격전류와 같다.	

3.3 교류아크용접기의 여러가지 형식

(1) 전류 조정 방식에 의한 교류 아아크 용접기 분류

① 가동철심 이동에 의한 것

현재 가장 많이 쓰이는 것이다.

② 2차 권선 tap 전환에 의한 것

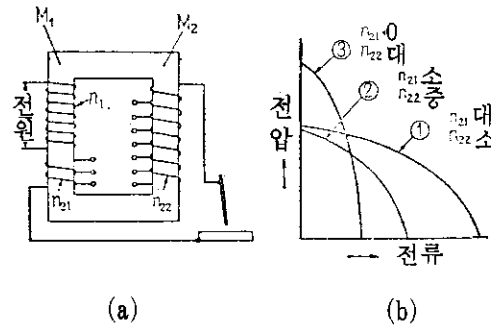


그림 2-18 탭전환형 용접기

tap 전환형은 그림 2-18의 (a)와 같이 1차 권선과 동일철심 M_1 위에 감은 2차권선(n_{21})과, M_2 에 감은 2차권선(n_{22})의 비를 변화시킨 방법으로 $(n_{21} + n_{22}) > r$ 일정하면 외부특성은 그림(b)의 ①, ②와 같이 무부하 전압은 거의 변하지 않고 전류조정 목적을 달성할 수 있다. 즉, n_{21} 이 크고 n_{22} 가 작으면, 전류가 크게 되고, 반대인 경우는 전류가 작게 된다. 그러나 이는 광범위한 전류 조정범위를 얻기 어렵고, 위 그림(b)에서 ①과 같은 작은 용접전류를 얻으려면 n_{22} 를 많게 해야 한다.

n_{22} 를 증가시키면 비례하여 2차 무부하 전압이 증가하나 누설 리액턴

스는 권수의 제곱에 비례하여 그 차이만큼 작게 되어, ③과 같은 외부특성곡선이 얻어진다. (n_{22} 는 리액턴스 역할을 하므로 리액턴스 권선이라 한다)

이와 같은 접속은 무부하전압이 높게 되는 소전류에서의 아아크 안정 측면에서 좋은 상태라 할 수 있으나 입력(KVA)이 증대되고 전력의 위험성이 있는 결점이 있다. tap 전환형에서 용접전류 조정은 2차권선에 설치된 tap을 바꾸어 단계적이고 세밀하게 조정되므로 실용상 지장이 없다.

③ 리액터의 tap 전환에 의한 것

변압기로서는 보통 전력용과 같은 누설 리액턴스가 그다지 많지 않은 것을 이용, 이것에 직렬 리액터를 접속하여 그림과 같은 tap전환에 의해 리액턴스 x 를 변화시켜 전류를 조정한다.

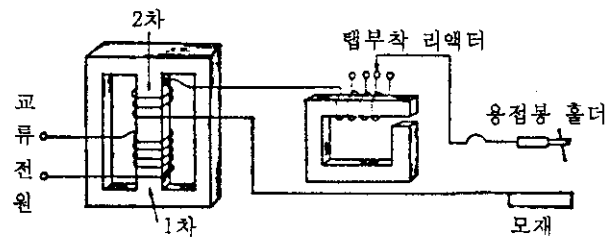


그림 2-19 직렬리액터의 탭 변환에 의한 전류조정

그림 2-20는 리액터 철심으로 그림 2-10(a)의 M_0 위치에 있는 것을 이용, 이것을 고정된 M_0 에 감겨 있는 리액터 권수 및 탭 전환하여

이를 통과하는 자속의 양을 증감하여 전류를 조정하도록 한 것이다.

④ 가동권선 이동에 의한 것

가동권선형 용접기는 그림 2-21과 같이 2차권선을 고정하고 1차 권선을 이동시켜, 1차권선과 2차권선사이의 거리를 변화시켜, 거리가 가까우면 리액턴스가 작게 되고 용접전류는 크게 된다. 가동권선형 용접기는 외철형이므로 표유부하손이 작은 장점이 있으나, 재료비가 비싸고 가동철심형의 성능이 우수하므로 잘 쓰이지 않고 있다.

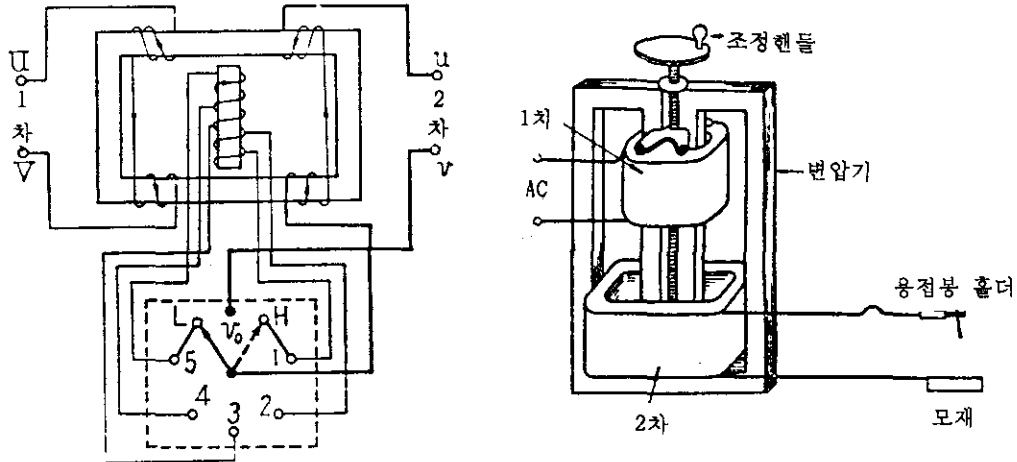


그림 2-20 M_3 을 리액터 그림 2-21 권선이동으로 인한 전류조정
철심으로한 예

⑤ 가포화 리액터 제어에 의한 것

그림 2-22에서 (A) 변압기는 정전압형으로, 직렬 리액터로 포화 리액터를 이용한 경우이다. 포화 리액터는 3각철심형으로, 중앙철심의 권선에 제어전류 I_1 가 흐르며 이 전류는 (D)의 가변저항으로 조정된다. I_1 가 변하면 포화 리액터 철심의 자기포화도가 변하여 교류 리액터의 실효

리액턴스가 변화하여 출력전류가 조정된다.

이 방법은 일반적으로 출력전류의 파형이 왜곡되는 경향이 있고, 제조 원가가 비싸 잘 쓰이지 않는다. 그러나, 전류조정이 전기적으로 이루어 지므로 원격제어가 쉽고, 조정이 신속하여 항공기 공업의 일부에 사용되고 있다.

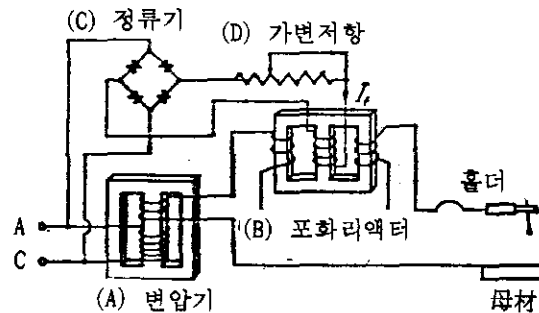


그림 2-22 가포화 리액터에 의한 전류조정

(2) 특수용도 교류 아아크 용접기

이상은 피복봉의 수동용접을 대상으로한 교류 아아크 용접기에 대해 설명하였으나, 그 외에 TIG의 일부, 탄산가스 아아크 용접의 일부 등에도 사용되고 있다.

이것은 용량이 목적에 따라 다른 것은 당연하며, 원리상 큰 차이는 없으나, 어느것이든 특수한 성능이 요구된다.

3.4 아아크 용접작업에 있어서의 전격 위험성

땅위에 서서 용접작업을 하고 있는 사람이 홀더의 충전부분이나 용접봉 등에 접촉되어 감전된 경우 인체에의 통전전류는 대략 다음 식에 따라 구해진다.

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}$$

I = 인체의 통전전류

E = 용접기 출력측의 무부하 전압

R_1 = 손과 홀더 또는 용접봉 충전부와의 접촉저항

R_2 = 인체저항

R_3 = 발과 대지와의 접촉저항

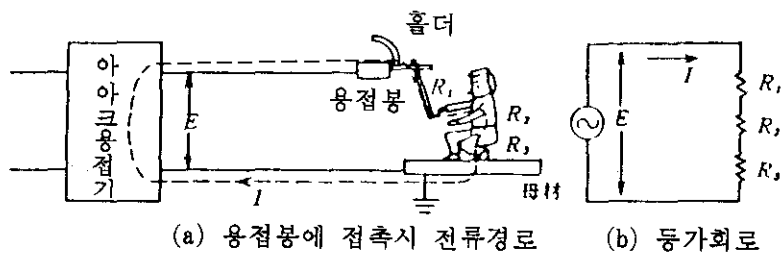


그림 2-23 용접봉에 접촉된 경우의 전류경로 및 등가 전기회로

상기 식으로 부터 용접기의 출력측 무부하 전압이 최대인 경우 ($E=95V$)에 대해서 인체에 흐르는 통전전류를 개략적으로 계산하여 보면 다음과 같다.

(1) 감전시의 조건이 좋은 경우

건조한 상태의 보호장갑이나 작업화를 착용한 경우의 각 저항값을 대략 $R_1 = 20,000\Omega$, $R_2 = 500 \sim 1,000\Omega$, $R_3 = 30,000\Omega$ 정도라고 보고, 이들 수치를 위 식에 대입하면 $I \approx 2\text{mA}$ 가 되어 생명에 위험이 될만한 전류는 흐르지 않는다.

(2) 감전시의 조건이 나쁜 경우

신체가 땀을 흘려 젖어 있고, 보호장갑을 착용하지 않아 맨손으로 용접봉을 잡고, 물이나 철판위에서 있는 경우에는 최악의 조건이 되어 $R_1 = 0\Omega$, $R_2 = 500\Omega$, $R_3 = 0\Omega$ 이 되어 이 수치를 위 식에 대입하면 $I \approx 190\text{mA}$ 가 되어 심실세동을 일으킬 우려가 있는 전류가 흐르게 되어 감전재해를 당할 염려가 있다.

4. 자동전격방지장치 이론

자동전격방지장치는 용접을 하지 않을때 자동적으로 2차 무부하전압을 85~90V에서 안전전압(25V이하)으로 낮추어 감전사고를 방지하기 위하여 교류 아아크 용접기에 부착하도록 의무화하고 있으며 이 장치는 산업안전보건법 제33조 3항에 의거, 성능검정에 합격한 제품만 사용하도록 규정하고 있다.

자동전격방지장치는 작업자의 감전 위험을 방지할 뿐만 아니라 무부하시의 전력손실을 경감시키는 에너지 절약의 측면도 있는데 교류 아아크 용접기에만 한정하고 있는 것은 직류인 경우는 교류에 비해 2차 무부하전압이 낮고 저압에서의 전격위험성이 직류가 낮기 때문이다.

4.1 자동전격방지 장치 동작원리

그림 2-24는 교류 아아크 용접기용 자동전격방지장치의 원리를 나타낸 것으로 용접 휴지시에는 교류 아아크 용접기의 1차측은 전자접촉기(점접식일 경우 : 전자접촉기, 무점접일 경우 : SCR, TRIAC 등)의 점접 S_1 에 의해 개로되고, 보조변압기에서 25V이하의 안전전압이 2차측에 인가된다. 용접봉을 모재에 접촉시키면, 실선으로 나타낸 기동전류 I_1 가 흐르고, 기동회로를 통하여 전자접촉기를 여자시켜 주점접 S_2 을 닫아 용접이 시작된다. 용접봉이 모재에 접촉하여 S_2 이 닫힐때까지의 시간을 시동시간이라 하며, 이 시간이 늦으면 작업상 불편을 느끼므로 현재 산업안전보건연구원에서 실시하고 있는 성능검정규격상에는 0.06초(60mS)이하로 규정하고 있는데, 실제 성능검정대상 전격방지기의 시험결과는 점접식일 경우 0.02초(20mS), 반도체 소자인 경우 0.01초(10mS)이내로 규정값을 훨씬 상회하는 수준에 있다.

주점접 S_2 의 폐로와 동시에 보조점접 S_3 가 열려 기동전류가 흐르지 않으나 아아크가 발생하면 2차 전압이 낮아지므로 NOT회로에 출력이 발생하여 기동시간 회로, 보조점접 S_3 를 통해 전자접촉기를 여자시킨다.

용접이 끝나면 높은 2차 무부하 전압이 걸리므로 NOT회로의 출력이 발생하지 않게 되어 전자접촉기가 여자되지 않으므로 2차 무부하전압은 안전전압으로 유지된다. 2차전압이 낮게 되면 다시 지동시간회로에서 출력이 발생하지만 보조점접 S_3 가 개로되어 있으므로 전자접촉기는 여자되지 않는다.

2차 무부하전압이 발생하여 주점접이 열릴때까지의 지동시간은 길면 위험하고 지나치게 짧으면 불편하므로 검정규격에서는 점접방식일 경우 1 ± 0.3 초, 무부하 방식일 경우 1초이내로 규정하고 있다.

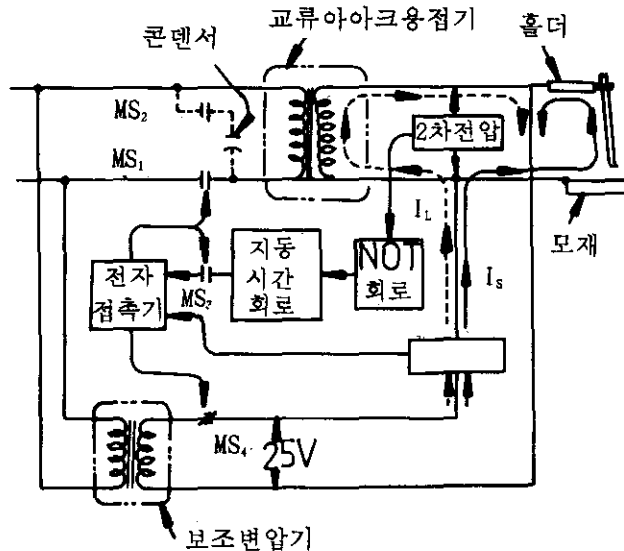


그림 2-24 자동전력방지장치의 원리 (1)

그림에서 용접기의 2차측에 점선으로 표시된 전류 I_L 이 기동회로에 흐를때 이 값이 매우커서 기동전류 I_s 가 흐르지 않더라도 전자접촉기가 오동작할 우려가 있다. 또, 역률개선폰 콘덴서가 1차측에 삽입되어 있으면, I_L 이 현저하게 증가하여 직렬로 접속하여 용접을 하지 않을때는 콘덴서 회로를 개로할 필요가 있다.

전류 I_L 에 의한 오동작을 방지하기 위해 기동회로를 그림 2-25와 같은 위치에 설치하여 I_L 이 기동회로에 흐르지 않게 하는 방식이 있다.

기동전류 I_s 가 흐르면, 전자접촉기의 여자가 계속되고 용접이 끝나면, 기동회로에는 전류가 흐르지 않으나 잠시동안 지동시간회로에 의해 동작되고 이후에는 주접점 S_1 이 개로된다.

실용적으로는 기동시간의 단축을 위하여 기동시에는 지동시간 회로를 통하지 않고 직접 전자접촉기를 구동하는 점선과 같은 회로가 있다.

이 방식은 기동회로에 큰 용접전류가 흐르므로 설치위치의 제약 및 기동회로에 발생하는 과대전압 처리가 문제된다.

박판 용접 등에는 기동시간이 아주 짧아야 되기 때문에 홀더에 스위치를 달아 기동시키고 지동시간 이상 무부하 상태가 계속되면, 자동적으로

전자접촉기를 여는 기동스위치가 설치되어야 한다.

또, 용접기의 1차, 2차 권선간에 절연이 열화되면, 1차측의 고전압이 용접봉 홀더에 인가되어 위험하므로 가반형의 용접전극을 사용하는 아아크 용접장치는 용접변압기의 1차측 전로의 대지전압이 300V이하이어야 한다고 규정되어 있으며(전기설비기술기준), 400V급 용접기는 배전선로 중성점을 접지하여 대지전압을 300V이하로 하도록 하고 있다.

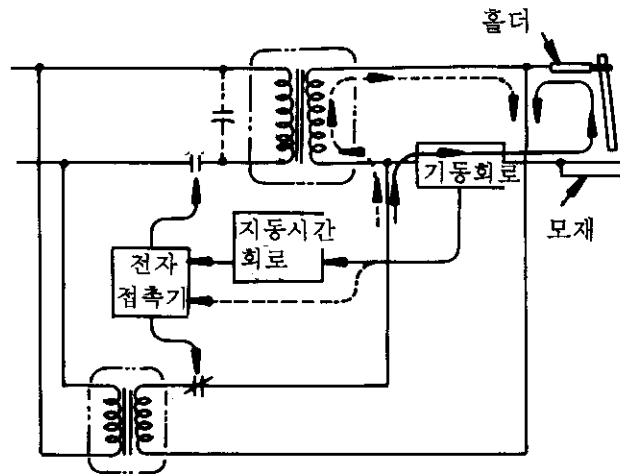


그림 2-25 자동전격방지장치원리 (2)

4.2 기타 용접기의 부속장치

(1) 용접봉 홀더

용접봉 홀더는 작업측면에서는 경량, 소형으로 무게중심이 손잡이 가까이 있는 것 좋으나 안전 측면에서는 노출 충전부분이 없는것이 바람직하다. (그림 2-26)

또, 아아크 발생시 우연히 사고에 대비하기 위해 충분히 절연시켜야 하는데, 산업안전보건법 시행규칙 제330조에는 「아아크 용접등(자동용접을 제외)의 작업에 사용하는 용접봉 홀더에 대해서는 KSC 9607(용접

봉 홀더)에 정하는 홀더의 규격에 적합하거나 동등이상의 절연내력 및 내열성을 갖춘 것을 사용해야 한다」라고 정하고 있다 (표 2-5 참조)

표 2-5 용접봉 홀더 KS규격 발체

종 류	정 격		용접봉 직경(mm)	접속되는 홀더용 케이블(mm)
	사용율(%)	용접전류(A)		
100 호	70	100	1.2~3.2	22
200 호	70	200	2.0~5.0	38
300 호	70	300	3.2~6.4	50
400 호	70	400	4.0~8.0	60
500 호	70	500	5.0~9.0	80

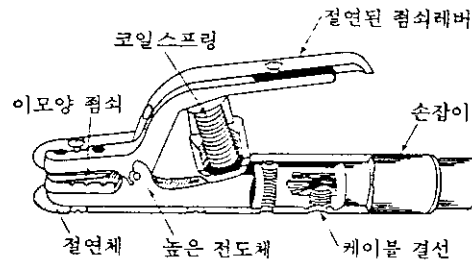


그림 2-26 용접봉 홀더

(2) 케이블

아아크 용접기와 용접봉을 연결하는 전선은 가혹한 취급을 받아도 마모, 충격, 굴곡 등에 충분히 견디는 내수성이 있는 것이 필요하다. 이와 같은 점에서「전기설비기술기준에 관한 규칙」 254조는 용접용 케이블 또는 캡타이어 케이블(단, 1종 캡타이어 케이블, 비닐 캡타이어

케이블 제외)을 쓰도록 규정하고 고무나 비닐절연전선은 사용하지 못하도록 되어있다.

용접용 케이블에는 홀더용과 도선용이 있다. 홀더용은 특히 유연성이 필요하여 가는 소선(素線)을 사용하고 피복은 고무 절연체와 캡타이어 고무의 2층으로 나누어져 있다. (그림 2-27)

홀더용이든 도선용이든지 캡타이어 고무 피복으로 천연고무를 사용한 1종 케이블, 기름에 강한 클로로프렌 고무를 사용한 2종 케이블로 나눈다.

또, 이 규칙(254조)은 용접용 케이블의 허용전류치를 정하여 「용접할 때 흐르는 전류 안전하게 통할 수 있는 것」으로 규정하고 있다.

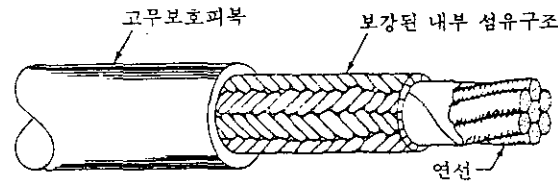


그림 2-27 용접용 케이블

아아크 용접기와 모재사이의 전선은 전기설비기술기준에서 「용접용 케이블이고 전기용품에 관한 법률의 적용을 받는 것이나 고시하는 규격에 적합한 것 또는 캡타이어 케이블(단, 1종 캡타이어 케이블 및 비닐캡타이어 케이블은 제외)일 것. 다만, 전기적으로 완전하고 또한 견고하게 접속된 철골 등을 사용하는 경우에는 그러하지 아니하다」라고 규정하고 있다.

(3) 접지클램프

용접기에서 전선을 피용접물에 부착시키는데는 클립식이나 영구자석식이 사용된다. 접지클램프는 항상 청결해야 하고 전기적 접촉이 잘되게 유지시켜야 한다.

먼지, 페인트 및 기름 등이 묻은 상태로 작업물에 조임시켜서는 안 된다. (그림 2-27)

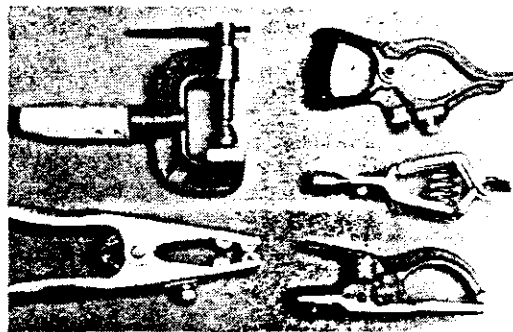


그림 2-28 여러 종류의 접지클램프

제 3 장 자동전격방지장치 성능검정 현황

1. 자동전격방지장치 제조업체 실태

1.1 제조업체 종업원수별 현황

자동전격방지장치 제조업체는 1991년 12월 현재 32개소로 교류 아아크 용접기의 방호장치로서 성능검정이 시작된 1987년부터 국내에서 본격적으로 제조되기 시작하여 오늘에 이르고 있으며 5년여의 짧은 제조 역사가 시사하듯이 초기에는 기술적 시행착오가 있었으나 많이 개선되어 왔다. 그러나, 아직도 보완을 요하는 기술적 과제를 안고 있다.

표 3-1 에서 보는 바와 같이 제조업체의 종업원수는 전체의 78%인 25개소가 10인이하이며 20인이하는 전체 제조업체 32개소의 약 94%인 30개업소에 이르고 있다.

표 3-1 제조업체 종업원수별 현황

인 원	10인 이하	20인 이하	30인 이하	50인 이상	계
업 체 수	25	5	1	1	32

1.2 제조업체 소재지별 현황

다음으로 제조업체의 소재지별 현황을 보면(표 3-2), 제조업체의 62.5%인 20개소가 수도권에 집중되어 있고, 부산 9개소, 경남 3개소로 12개업체가 영남권에 소재해 있는데 이는 용접기의 수요가 많은 지역에 제조업체가 편중되어 있음을 나타내 주고 있다.

표 3-2 제조업체 소재지별 현황

소재지	서울	부산	대구	인천	광주	대전	강원	경기	경남	경북	전남	전북	충남	충북	제주
업체수	13	9	0	2	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0

1.3 제조업체 형식검정 합격별 현황

1987년 성능검정 시작 이후 1991. 10 현재까지 총 55건의 형식검정 합격 건수를 제조업체별 합격건수로 분류하여 보면, 총 26개 업체중 46.1%인 12개 업체가 1건(모델)합격, 7개업체(26.9%)가 2건, 5개업체(19.2%)가 3건, 1개 업체가 4건 합격하였고, 9건 합격한 업체가 1개 소이다.

이는 단적으로 자동전격방지장치 제조업체가 자본면에서 영세하고 기술적인 향상을 위한 연구개발 노력은 거의 없는 실정을 입증해 주고 있다.

2. 자동전격방지장치 성능검정 현황

2-1 성능검정 배경

자동전격방지장치 성능검정규격은 1981년 산업안전보건법 제정과 더불어 교류 아아크 용접기가 방호장치를 부착해야 하는 위험기계기구로 분류되면서 제정의 필요성이 제기되고 1987. 6. 23 노동부고시 87-46호로 규격이 제정되고 성능검정이 시작되었다.

성능검정 규격은 1960년대 초부터 자동전격방지장치 부착을 시작한 일본의 JIS규격 (JIS C 9311)과 1974. 12. 24 공업진흥청 고시 제85-1464호로 제정된 교류 아아크 용접용 전격방지장치 (KSC 9623)에 관한 KS

규격을 토대로 1987. 6. 23 노동부 고시 87-46호로 제정되어 오늘에 이르고 있다.

KS 규격 제정 당시에는 감전위험을 방지하기 위한 방호조치의 안전 측면보다 에너지 절약 측면에서 제조의 당위성이 제기되었으나 1981년 산업안전보건법 제정 이후 방호조치 측면이 강조되면서 성능검정 시행 초기의 문제점을 보완하고 제조업체의 홍보를 통하여 기술적인 문제점을 해결할 수 있도록 유도하여 왔다.

그러나, 성능검정에 합격한 제품도 용접현장에서 사용시 여러 문제점이 노출되고 있는데 이에 대한 기술적인 사항을 우리 연구원과 업체가 공동연구 등을 통하여 계속 보완해 나가야 할 것이다.

2-2 연도별 성능검정합격 현황

1987년 성능검정 실시 시작 이후 1991년 10월 현재까지 성능검정 신청건수와 합격현황을 보면 표 3-3과 같다.

표 3-3 연도별 성능검정 합격현황

연 도	'87	'88	'89	'90	'91. 10 현재	계
접수건수	6	56	35	51	17	165
합 격	0	9	12	21	13	55
합격율(%)	0	16.1	34.3	41.2	76.5	33.3

여기서 보면, 성능검정 신청건수는 연도별 뚜렷한 증가 등의 특징이 없으나 합격율은 꾸준히 증가하여 성능검정기준에 적합한 자동전격 방지장치가 제조되고 있음을 입증하고 있다.

2-3 연도별, 시험항목별 성능검정 현황(1987~1990)

표 3-4 연도별, 시험항목별 성능검정 현황

종 류	'87				'88				'89				'90			
	정수	합격	불합격	합격율	정수	합격	불합격	합격율	정수	합격	불합격	합격율	정수	합격	불합격	합격율
총 계	6	0	6	0	56	9	47	16	35	12	23	34	51	21	29	41
구 외관검사		3	3	50		42	14	75		32	3	91	51	50	1	98
주 주체어강지		5	1	83		53	3	95		32	3	91		47	4	92
검 절지단자		3	3	50		52	4	93		28	7	80		51	1	98
사 표시등		5	1	83		45	11	80		26	9	74		43	6	84
전원전압변동시험		6	0	100		48	8	86		29	6	83		50	1	98
내충격시험		3	3	50		50	6	89		29	6	83		46	5	90
온도시험		6	0	100		54	2	96		32	3	91		49	2	96
절연저항시험		6	0	100		56	0	100		35	0	100		48	3	94
내전압시험		6	0	100		56	0	100		34	1	97		46	5	90
출력측 무부하전압		4	2	67		49	7	88		28	7	80		46	5	90
복 시 등 시 간		6	0	100		50	6	89		28	7	80		46	5	90
성 지 등 시 간		3	3	50		34	22	60		24	11	69		41	10	80
시 게 폐 등 작		6	0	100		47	9	84		29	6	83		47	4	92
합 자동고저압자동형 대지 전류시험		1	5	17		27	29	48		15	20	43		32	19	62
시 등 감 도		6	0	100		43	13	77		26	9	74		39	12	76
주체어강지 동작시험		3	3	50		28	28	50		13	22	37		39	12	76
CT 단락전류 및 전압시험		6	0	100		55	1	98		34	1	97		49	2	96
외부 자장에 의한 간섭방지 시험		6	0	100		56	0	100		34	1	97		51	0	100
용량기 과합성 시험		6	0	100		47	9	84		32	3	91		45	5	90

표 3-4에서 보는 바와 같이 시험항목은 12항목으로 되어 있고, 연도별 시험항목별로 합격, 불합격의 통계가 나와 있다.

전격방지기의 규격이 1987년 제정되고 성능검정시험 1년후인 1988년에 문제점을 보완하며 규격을 개정하였기 때문에 1987년의 합격 현황과 이후 년도의 합격현황은 상호비교에 무리가 있을 것으로 보인다.

여기서, 합격율이 저조한 항목을 보면, 특성시험에서 지동시간, 자동고저항 시동형(H)대지 전류시험과 시동감도 시험, 주제어장치 동작시험 등이다.

이 항목들은 전격방지장치 성능에 중요한 영향을 주는 항목들로서 앞으로 성능검정기준을 능가하는 제품의 개발에 제조업체들의 많은 연구가 따라야 할 것이다.

표 3-5 종류, 정격 및 특성별 합격현황

종 류		정격전류 (A)		정격사용율 (%)	출력측 무부하 전압 (V)	지동시간 (초)	시동감도 (Ω)	연 도 별				계
		1 차측	2 차측					88	89	90	91	
저 저 항	3A	130	300	50	25 이하	1.0±0.3	2 미만	1			2	3
	5A	220	500	70					2	2		4
	3B	130	300	50				2	1	3		6
	5B	220	500	70					1			1
시 동 형	3C	110	300	50								
	5C	180	500	70								
	2E	—	200	50								
	3E	—	300	50								
	5E	—	500	70								
계	9							3	4	5	2	14

종 류	정격전류 (A)			정격사용율 (%)	출력측 무부하 전압 (V)	지동시간 (초)	시동감도 (Ω)	연 도 별				계
	1 차측	2 차측						88	89	90	91	
고저항	3A	130	300	50	25 이하	1.0 ± 0.3	2~500	1	1	1	2	5
	5A	220	500	70					1	3	2	6
	3B	130	300	50				4	6	10	5	25
	5B	220	500	70				1		2	2	5
시동형	3C	110	300	50								
	5C	180	500	70								
	2E	—	200	50								
	3E	—	300	50								
	5E	—	500	70								
계	9							6	8	16	11	41
총계	18							9	12	21	13	55

2-4 전격방지장치의 종류, 정격 및 특성별 합격현황

표 3-5에 나타난 바와 같이 4개년간 합격된 전격방지장치의 종류별로 본 특성은 고저항 시동형(H형)이 41 모델로 전체의 74.5%로, 저저항 시동형(L형)보다 압도적으로 많고 이를 다시 출력측 정격전류별로 보면, 콘덴서를 내장하지 않은 교류아아크 용접기에 사용하는 300A용 자동전격방지장치가 25개로 전체의 45.54%를 차지하고 있다. 여기서 A는 교류 아아크 용접기에 내장되어 있는 콘덴서의 유무에 관계없이 사용할 수 있는 것, B는 콘덴서를 내장하지 않은 교류 아아크 용접기에 사용하는 것, C는 콘덴서 내장형, E는 엔진 구동 교류 아아크 용접기에 사용하는 전격방지장치를 표시한다.

2-5 점점방식별 성능검정 점수 현황

표 3-6은 제어장치의 제어방식별 성능검정 점수 현황을 나타내고 있다. 제어방식은 마그네트에 의한 점점방식과 반도체 소자(SCR, TRIAC 등)에 의한 무점점방식이 있으며 각각의 장단점이 있기 때문에 이 자료는 제작용체의 제어방식 채택 추세를 알아보기 위한 것으로 '90년 까지는 점점방식이 많은 추세이나 '91년부터는 반도체 제어방식이 많이 채택되고 있는 경향을 볼 수 있다.

표 3-6 제어방식별 성능검정 점수 추이

년 도 별	87	88	89	90	'91, 10	계
점 수 건 수	6	56	35	51	17	165
점점방식/구성비(%)	6/100	43/76.8	27/77	32/62.7	7/41.2	115/69.7
무점점방식/구성비(%)	0/0	13/23.3	8/23	19/37.3	10/58.8	50/30.3

3. 성능검정에서 나타난 불합격 원인 분석

지금까지 실시된 자동전격방지장치의 성능검정 12개 항목별 불합격 원인을 보면 다음과 같다.

(1) 외관점사

절연상태가 불량하며, 방수상태의 불량 등 구조가 규격에 미달되어 있다.

(2) 주제어 장치, 동작시험

- ① 주제어장치의 규격 및 용량 미달로 인한 점점 손상
- ② 20,000회 동작시험에서 점점이 용착되는 현상 발생
- ③ 온도 상승시 SCR 소자의 도통현상 발생

(3) 표시등

표시등의 규격 미달 및 전원전압 220V에서 주제어 장치 용착상태 등의 오동작시에도 작동

(4) 염수오동작 시험

2차측 접지 및 홀더선에서 손상된 피복(벗겨진 상태)에 의한 누설전류로 전격방지장치가 오동작 일으킴

(5) 출력측 무부하 전압

25V 이하에서 아아크 발생이 늦어 지장이 있다는 이유로 전압조절을 할 수 있는 구조를 부착하여 현장사용시 임의로 조절 가능하게 하여 방호장치 기능을 저하시킨다.

(6) 지동시간

용접상태에서 1초이내에 무부하전압(25V 이하)으로 떨어지는 시간을 조절 가능한 구조로 하여 전격의 위험이 있다.

(7) 시동시간

아아크발생이 잘 안된다는 이유로 시동시간이 규정된 범위를 초과

4. 성능검정 규격 개정 내용

산업안전보건연구원에서는 자동전격방지장치 성능검정규격이 1987년 제정된 이래 1988년 일부 규격을 보완, 개정한 바 있고 이후로 드러난 문제점들을 관계 전문가들이 수차례 걸쳐 검토한 결과 6개 항목을 개정하고, 제11조의 (성능)에서 노이즈시험, 단속시험 등을 추가한 개정(안)이 한국산업안전공단 기준제정위원회를 1991. 11월에 통과하여 노동부의 고시로 확정될 예정인데 그 내용의 자세한 비교는 아래와 같다.

내 용(개정)	현 행	개 정(안)	개 정 사 유
1. 제 3 조 ①(용어의 정의)	단, 반도체로서는 2차 주회로를 개폐할 수 없다.	삭 제	용접기 2차제어에 반도체 사용 허용
2. 제 5 조(사용상태)	② ③ ④ ⑤ ⑦ ⑨ ⑩	삭 제	온도와 습도에 관한 기본사용 조건에 대해서만 조정하여 실질적인 사용상태 고려
3. 제 6 조(종류, 정격 및 특성)	저저항시동형, 고저항시동형	구분을 없앴.	검정시 저저항으로 신청하여 판매시 고저항으로 변경하여 판매되는 모순 제거
4. 제 11 조 ④(성능) 온도 상승한도	무접점(반도체소자) 80℃	85℃	KS규격에서의 무접점 표준온도와 같게 함.
5. 제 11 조 ⑦(시동시간)	0.06초이내에서 용접봉 접촉 소요시간 0.04초	0.04, 0.02	시동감도가 늦어 용접 현장에서 전격방지기 사용을 기피하는 현실이므로 기준치 상향
6. 제 12 조 ⑥(시험방법)	자동고저항 시동형, 해수와 동일한 염도를 가진 염수속에서 용접기 2차측에 정격전류이하의 누설전류가 흐르도록 용접기 2차측 케이블의 피복을 벗겨서 담그고 용접을 행한다.	해수와 동일한 염도를 가진 염수속에서(4%) 용접기 2차측에 단면적(1㎤)의 동판을 20cm간격을 두어 담그고 용접을 행한다.	
(추가) 7. 제 11 조 ⑨ 노이즈시험	- Tig 고압발생장치를 기준으로 하여 (500V)의 고압펄스를 1초간격으로 10회 동안 반복시험하여 이상이 없어야 한다.		용접현장에서 인접한 TIG 용접기로 인한 노이즈 발생으로 오동작 발생을 방지하기 위함.
8. 제 11 조 ⑫	- 주전원을 부하상태에서 500ms간격으로 2초간 전원을 ON, OFF시켜 주제어장치가 이상없이 동작하여야 한다.		전원 스위치 조작에 의한 오동작 방지
9. 제 11 조 ⑬	- 위상제어방식일 경우에는 최고전압의 60V를 넘지 않아야 한다.		60V를 넘으면 인체에 전격의 위험이 있으므로 이를 방지하기 위함.

제 4 장 자동전격방지장치 부착 및 사용실태 조사

1. 실태조사 개요

1.1 조사 목적

본 실태조사의 목적은 교류 아아크 용접작업으로 인한 감전재해 방지를 위하여 방호장치인 자동전격방지장치의 부착사용이 법적으로 의무화되어 있음에도 불구하고 실제 용접작업을 하는 사업장에서는 이를 기피하고 있거나 작동되지 않는 장치를 형식적으로 설치하고 있어 감전사고의 우려가 있는 실정이다.

이에 사업장에서의 용접 작업시 실태조사를 통하여 제기된 여러 문제점들을 정확히 파악하여 분석하고 대책을 연구함에 있어 객관적인 기초자료로 활용하기 위한 것이다.

주지 하다시피 교류 아아크 용접기는 전업종에 걸쳐 사업장의 규모와 관계없이 용접현장에서 여러 종류의 용접기중 가장 널리 사용되는 것이나, 이들 중에서 작업공정의 대부분이 용접작업인 조선업을 중점적으로 실태 조사하였는데 다음 사항을 조사의 주안점으로 파악하였다.

- ① 교류 아아크 용접기 사용 실태
- ② 자동전격 방지장치 설치 실태
- ③ " " 부착시 문제점
- ④ 용접시 작업방법상 문제점

2. 조사대상

본 실태조사 대상은 조선업을 중점적으로 하였으며, 대상 사업장 72개소를 선정하여 실시하였다. 대상을 조선업으로 국한한 이유는 어느 업종보다 용접 공정이 많으며, 자동전격방지장치 부착시 가장 트러블이 많이 발생하고 있어 이러한 다양한 작업환경에 견디는 성능의 장치는 다른 사업장에서는 전혀 문제점이 없으리라고 보았기 때문이다.

3. 조사방법 및 내용

조사 대상 72개 사업장에 설문지를 발송하여 회신된 21개 사업장의 설문 응답을 분석하고 이중 종업원 500인 이상 사업장 4개소는 현장조사를 병행 실시하였다.

본 조사는 교류 아아크 용접기의 보유현황 등 개괄적 현황, 자동전격방지 장치의 설치 및 사용상 문제점, 용접사의 작업안전의식과 안전교육 등에 관한 사항을 25개의 조사항목으로 선정하여 실시하였다.

특히, 현장조사에는 자동전격방지장치 설치시 성능상의 문제점에 대하여 집중적으로 조사 하였다.

4. 설문조사에 나타난 실태

(1) 규모별 업체수 및 용접기 종류별 보유현황

실태조사에 응한 21개 업체를 종업원수에 의한 규모별로 보면, 500인 이상의 대기업이 7개소로 전체의 30%, 100인이상 500인이하가 2개소로 9.5%, 100인이하의 중소기업이 12개소로 57%를 나타내었다. (표 4-1)

조사된 21개 조선업체의 용접기 종류별 보유대수는 CO₂ 용접기가 10,169대로 전체 22,522대의 45.2%의 구성비를 나타내고 있으며, 그 다음이 교류아아크 용접기 9,760대로 43.2%, 티그용접기 784대(3.5%), 자동용접기 994(4.4%), 기타 815대(3.6%)를 차지하고 있다. (표 4-2)

여기서 볼때 용접기의 주종(88.5%)이 CO₂용접기와 교류 아아크 용접기임을 알 수 있으며, 교류 아아크 용접기의 생산 및 판매가 정체 상태 내지 감소이고 CO₂ 용접기가 교류 아아크 용접기 가격의 5~8배임에도 판매량이 증가하는 추세로 나타나고 있다.

또, 교류 아아크 용접기 보유대수를 보면, 대기업 5개 업체가 1,000대 이상을 보유하고 있어 전체 9660대의 88.6%(8,643대)를 차지하고 있으며, 100대 이상인 사업장이 4개소 6.74%(658대)로, 대기업이 압도적으로 많이 보유하고 있음을 알 수 있다. (표 4-3)

표 4-1 규모별 업체수

구 모 별	100인 이하	100~500	500인 이상	계
업 체 수	12	2	7	21
구 성 비(%)	57	9.5	30	100

표 4-2 용접기 종류별 보유대수

종 류	교류아아크용접기	CO ₂ 용접기	TIG	자동용접기	MIG	DC	spot	기타	계
대 수	9,760	10,169	784	994	42	40	40	693	22,522
구성비(%)	43.3	45.2	3.5	4.4	0.5			3.1	100

표 4-3 업체별 교류 아아크 용접기 보유대수

업체명	D	S	H	I	B	K	C	T	J	기타(12업체)	계
보유대수	3,000	1,882	1,450	1,307	1,004	168	140	250	100	459	9,760
구성비(%)	30.7	19.3	14.9	13.4	10.3	1.7	1.4	2.6	1.0	4.7	100

(2) 자동전격방지장치의 제조회사별 보유현황

자동전격방지장치 제조회사별 보유현황은 표 4-4에서 보는 바와 같이 총 6,688로, 앞의 표 4-2, 4-3에서 나타난 교류 아아크 용접기 보유대수 9,760대와는 3,072대의 차이가 있다. 이는 곧 교류 아아크 용접기에 법적으로 부착하도록 되어 있는데도 방호장치를 미부착하고 있음을 의미한다. 또, 제조회사별로 보면, 우리 연구원에서 1987~1991년에 걸쳐 성능검정에 합격된 회사명과 비교할때 8개 회사 3,113대가 성능검정을 받지 않았거나 불합격한 제품으로 추정되며 이는 방호장치 유통상의 문제가 있음을 나타낸다. 자동전격방지장치의 비검정품 부착이나 미부착은 용접작업의 안전상 간과할 수 없는 문제점이 아닐 수 없다.

표 4-4 제조회사 및 자동전격방지장치 보급(보유)현황

검정필 여부	검정필													검정미필 또는 불합격										계
제조회사	A	E	K	L	M	F	B	C	H	J	O	U	Q	X	Y	D	G	S	N	P	일제	불분명		
보급대수	89	141	30	78	252	501	30	30	1,900	100	235	207	2	139	2,260	149	10	30	39	330	43	93	6,688	
구성비	3,595(53.6%)													3,113(46.4%)										100

물론, 여기서 자동전격방지장치의 성능검정 시행이전의 제품이 비검정품의 보유현황에 통계화된 면도 있다.

(3) 자동전격방지장치 부착 현황

교류 아아크 용접기에 자동전격방지장치 부착 여부에 대한 조사에서 21개 업체중 61.9%인 13개 회사가 부착하고 있으며, 부분적으로 부착하고 있는 사업장이 7개소(33.3%), 1개사는 부착하고 있지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 조사대상 사업장이 교류 아아크 용접기를 수천대 사용하는 대기업에서 10대이하를 보유하고 있는 중소기업도 있으므로, 이 수치가 앞서의 미부착 대수와 객관적 연관성이 있다고는 볼 수 없다.

(4) 자동전격방지장치 사용상 문제점 조사

교류 아아크 용접장치 사용 중 고장이나 수리를 요하는 손상이 가장 잦은 곳의 빈도는 자동전격방지장치 → 용접봉 홀더 → 용접 케이블 → 용접기 본체 → 케이블 커넥터 → 전원용 개폐기 순으로 나타났다.

또, 자동전격방지장치 부착시 가장 큰 문제점으로는 “고장이 자주 발생하며 수명이 짧다.”(12개소, 57.1%), “시동감도가 좋지 않다.”(6개소, 28.6%), “오동작이 자주 발생한다.”(2개소, 9.5%), 기타(1개소, 4.8%)로 나타났다.

이것을 1988년 노동과학연구소에서 조사한 같은 내용의 설문과 비교해 보면, “시동감도가 좋지 않다.”라는 항목이 전체의 50%, “오동작이 자주 발생한다.”가 10.3%, 전격방지기의 “수명이 짧아 사용하기 불편하다.”가 36.2%의 응답을 보인 것으로 볼때, 시동감도는 많이 개선된 것으로 볼 수 있고, 전격방지기의 내구성은 아직도 많은 문제점이 있는 것으로 보인다.

한편, 이러한 문제점에도 불구하고 대부분의 사업장(13개소, 61.9%)은

“감전사고 발생을 방지하기 위해 사용하고 있다.”고 응답하였으나 성능상 문제가 있어 사용하지 않는 사업장도 전체의 33.3%인 7개소나 되는 것으로 나타나 법상의 의무규정과 현실사이에 아직도 많은 괴리와 문제점이 상존함을 알 수 있다.

용접기나 전격방지장치 고장이 발생했을때 규모가 큰 사업장은 수리전담부서가 있어 즉시 수리해 주고 있으나(5개소, 23.8%), 외부에 수리 의뢰하여 사용하는 사업장이 16개소(76.2%)나 되는 것으로 나타났다.

교류 아아크 용접장치의 감전사고 유발 위험이 가장 큰 부분은 용접용 케이블(47.6%), 용접봉 홀더(23.8%)로 생각하고 있으며, 이는 조선업의 특성상 철구조물의 날카로운 부분에 케이블 손상이 많이 발생하고 있음을 시사하고 있다.

자동전격방지장치의 감전예방 효과에 대한 인식도를 알아 보기 위한 설문에서 “완벽하게 보호한다.”가 14.3%, 완벽하지 않으나 부착하는 것이 그렇지 않은 경우보다 훨씬 효과적이라고 생각하는 경우가 61.9%(13개소)로 대부분 긍정적으로 보고 있으며, “별로 효과가 없다.”는 부정적인 시각 (3개소, 14.3%)도 있다.

교류 아아크 용접기에 의한 용접작업시 안전상 보완해야 할 가장 큰 문제점으로 시급히 해결해야 할 사항에서 71.4%(15개소)가 자동전격방지장치의 성능향상 문제를 들고 있으며, 그 다음이 용접사의 안전의식 향상(14.3%)으로 보고 있으며, 산업안전보건법상의 제도적 보완의 필요성도 제기 되고 있다. (4.8%)

따라서, 자동전격방지장치의 성능향상이 가장 큰 문제점으로 인식되고 있으며 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

다음으로 용접작업자의 안전의식 및 안전교육 현황을 파악하기 위해 조사한 설문에서, 안전교육은 부정기적(42.9%) 또는 정기적(47.6%)으로

실시하고 있으며, 회사의 안전관리 규칙을 “잘 준수한다.”(9.5%), “비교적 잘 준수한다.”(42.9%), “보통이다.”(33.3%)로, 대체적으로 안전규칙을 지키는 것으로 보인다. 이것을 용접사의 안전의식이 “매우 높다.”(14.3%), “높다.”(47.6%), “보통이다.”(33.3%)라고 응답한 것과 비교할때 용접작업자의 안전의식은 긍정적인 것으로 해석된다.

한국산업안전공단의 현장기술지도에 대한 인식도에서 교류 아아크 용접작업과 관련하여 안전기술지도를 받은 경험이 있는 사업장이 16개소(76.2%), 없다는 사업장이 4개소(19%)이며, 공단의 기술지도에 대해서는 도움이 되었다고 생각하는 사업장이 13개소(61.9%)로, 긍정적인 반응을 보이고 있다.

그러나, “도움이 되지 않았다.”(14.3%)와 부정적 시각으로 볼 수 있는 무응답(23.8%)을 감안하면 전체의 38.1%가 공단의 기술지도에 부정적인 시각도 있음을 간과해서는 안될 것이다.

제 5 장 자동전격방지장치의 문제점과 대책

1. 제도상의 문제점과 대책

1.1 용접작업에서의 안전규정에 대한 각국의 제도 비교

(1) 일 본

일본의 경우 노동성 안전위생규칙 제332조(교류 아아크 용접기용 자동전격방지장치)에서 다음과 같이 규정하고 있다.

“사업자는 선박의 바닥 또는 탱크 상부의 안, 보일러 동체, 돛의 내부 등 도전체로 둘러 쌓인 장소에서 현저히 좁은 곳 또는 추락으로 근로자에게 위험을 미칠 우려가 있는 높이 2m 이상의 장소에서 철판 등 도전성이 높은 접지물에 접촉할 우려가 있는 경우 교류 아아크 용접 등(자동용접 제외)의 작업을 행할 때에는 교류 아아크 용접기용 자동전격방지장치를 사용하여야 한다.

단, 출력측 무부하전압(교류 아아크 용접기의 아아크 발생을 정지시킨후 용접봉과 피용접물사이 전압을 말한다.)이 1.5초 이내에 30V 이하가 되는 교류 아아크 용접기(외함에 출력측 무부하 전압을 표시한 명판을 설치한 것에 한함)를 사용하여 당해 작업을 행한 때는 적용하지 않는다.”

여기서 보면, 자동전격방지장치를 부착하여 사용하는 경우가 명백히 전격의 우려가 있는 장소와 대상이 정하여져 있으며 모든 교류 아아크용접기에 의무적인 부착 규정이 있는 우리보다 완화되어 있다.

(2) 미 국 (OSHA)

“땀이 잘나는 고온 상태에서 용접할 때는 전격의 위험을 감소하기 위해 무부하전압을 낮게 하는 자동장치의 사용을 권장한다.” (For a.c welding under wet conditions or warm surroundings where perspiration is a factor, the use of reliable automatic controls for reducing no load voltage is recommended to reduce the shock hazard.)

(3) 독 일

VBG 15(용접 및 절단작업)의 32절은 아아크용접과 절단작업시 전기적 위험이 있는 경우에 대해 다음과 같이 규정하고 있다.

“ ① 도전성이 있는 벽, 마루, 천정 등의 제한된 장소

② “ 부속품이나 그 사이의 제한된 조건

③ “ 부분 등의 이동이 제한된 장소

④ 젖어 있거나 땀이 나는 곳

등에서는 근로자는 이에 접촉되는 것을 방지하기 위해 절연매트나 격벽으로 방호하여야 한다. 특히 추락이나 다른 위험 때문에 방호조치가 불가능 할때는 건조하고 해가 없는 작업복을 입고 작업해야 한다.”

(4) 한 국

산업안전보건법 제33조(유해·위험기계·기구등의 방호조치)와 동법시행령27조(방호조치를 하여야 할 유해 또는 위험기계기구등) 별표7의 4호의 규정에 따라 동법 시행규칙 제46조에서는 교류 아아크 용접기에는 자동전격방지기를 부착하도록 하고 있다.

또, 이에 대한 세부적인 것은 노동부고시 91-50호(1991. 9. 3 개정)의 위험기계·기구 방호조치 기준에서 정하고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

「 제 5 장 교류 아아크 용접기

제 14 조(적용대상) 이 장은 교류전원을 사용, 아아크를 발생시켜 금속을 용접 또는 용단하는 교류 아아크 용접기에 대하여 적용한다.

제 15 조(방호조치) ①교류 아아크 용접기에는 자동전격방지기를 설치하여야 한다.

②제1항의 규정에 의한 자동전격방지기는 법 제33조 제3항의 규정에 의한 성능검정품이어야 한다.

③제1항의 규정에 의한 자동전격방지기는 아아크발생이 중단된 후 1초 이내에 교류 아아크 용접기의 출력측 무부하 전압을 자동적으로 25V이하(전원 전압의 변동이 있을 경우 30V이하)로 강하시켜야 한다.

제 16 조(설치방법) 자동전격방지기를 교류 아아크 용접기에 연결할 때에는 전기적 특성에 적합하여야 하며 견고하게 설치하여야 한다.」

1.2 제도상의 문제점과 대책

앞서 본바와 같이 일본은 현저히 전격의 우려가 있는 장소(도전체에 접촉될 우려가 있을 정도의 좁은 장소나 2m 이상의 고소작업시에도 작업대나 비계, 난간, 덮개, 울타리 등이 설치되어 있지 않는 경우로 제한)에만 설치하도록 규정하고 있다.

미국(OSHA)의 경우는 일본의 경우보다 더욱 완화되어 감전의 우려가 있는 용접작업시 무부하 전압을 낮게 하는 자동장치의 사용을 권장하고 있을 뿐이고 독일의 VDE 규정에서는 전기적 위험이 있는 곳에서는 절연매트 등을 사용하거나 근로자가 절연복 등을 착용하고 작업하도록 하고 있다.

그러나, 우리나라의 경우 교류 아아크 용접작업시에는 예외없이 자동전격방지장치를 부착토록 의무규정하고 있고, 산업안전기준에 관한 규칙

제330조에서 용접봉의 홀더는 KS에서 정하는 규격이나 그 이상의 절연 내력을 갖춘 것을 사용하도록 하고 있다.

교류 아아크 용접기가 전국의 여러 사업장을 대상으로 할때 1대에서 수천대까지 보유하지 않은 업체는 거의 없을 정도이며, 특히 조선업을 비롯하여 기계기구 제조, 금속제품 제조업에서 많이 사용하고 있는 실정이나, 현실적으로 근로자의 작업안전수칙 준수, 보호 장구 등을 사용하면 감전의 우려가 없는 사업장도 있기 때문에 예외없이 자동전격 방지장치를 부착하도록 의무화하고 있는 것은 검토의 여지가 있다고 보여진다. 또, 현시점에서 이 안전장치의 성능이 100% 만족할 만큼 완벽하지 못한 상황이기 때문에 제품의 신뢰성 측면에서 아직도 부정적인 면이 일부에서 상존하고 있음을 “근로자의 안전이 최우선”이라는 명제가 충족되는 조건이라면 운영의 묘가 필요할 것이다.

그러나, 한편으로는 우리나라 산업현장에서의 사업주나 근로자의 안전에 대한 의식이 선진국의 그것에 비해 월등히 뒤진 현실에서 이에 대한 규정을 후퇴하면 산업재해 예방의 법정신이 퇴색될 수도 있다.

따라서, 이에 대한 대책은 다음의 2가지로 제시될 수 있을 것이다.

첫째, 자동전격방지장치는 감전재해 방지를 위한 재해 예방 안전장치로서의 기능 뿐만 아니라, 절전의 효과도 있으므로, 우리 연구원과 제조업체, 사용업체가 공동노력하여 연구하고 기술개발을 통하여 빠른 시간내에 어느 사업장이나 만족할 만한 수준으로 성능을 향상시키는 방안이다.

둘째, 성능적으로 신뢰할 만한 제품이 보급될 단계에서, 일본과 같은 수준으로 전격의 위험성이 현저한 작업장소에서만 부착토록 법개정을 통해 완화시킨다.

물론, 이 시점에서는 근로자의 안전의식 수준이나 우리나라의 전반적인

안전의식이 향상되고, 관이나 행정력의 강제에 의한 안전이 아니라, 사업장 자율의 안전이 일반화되고 정착화 되어야 한다는 전제가 있어야 할 것이다.

2. 자동전격방지장치 문제점과 대책

2.1 자동전격방지장치의 기능

방호장치는 그 대상으로 하는 기계기구에 부착하여 작업시 안전사고를 방지하는 것이 그 주된 목적이다. 그러나, 이러한 목적 달성에는 생산성의 유지 내지 '향상'이라는 측면을 만족시켜야 하는 전제조건이 필요하고, 이것이 충족될때 방호장치로서의 기능이 충분히 발휘되고, 작업현장에서도 환영을 받을 수 있는 것이다.

다시 말해, 방호장치는 안전 측면만 강조되고 작업효율면을 등한시 하면 작업에 장애 요인으로 작용하게 되어 부착을 기피하는 현상을 초래하며 반대일 경우는 안전사고 방지라는 본연의 기능을 다하지 못할 것이다.

그런데, 방호장치가 갖는 성능이 방호장치 본래의 기능은 물론 작업 효율에도 여러가지 영향을 주는 것이므로 양자를 동시에 충족시키는 메카니즘의 방호장치가 절실히 필요하다고 하겠다.

교류 아아크 용접기의 방호장치인 자동전격방지장치는 용접기의 주회로를 제어하여 용접봉의 조작에 따라 용접시에는 주회로를 형성하고, 용접을 하지 않을 때에는 용접기 출력측의 2차 무부하 전압을 자동적으로 1초 이내에 25V 이하의 안전전압으로 강압시키는 장치로서 그 결선도는 그림 5-1과 같다.

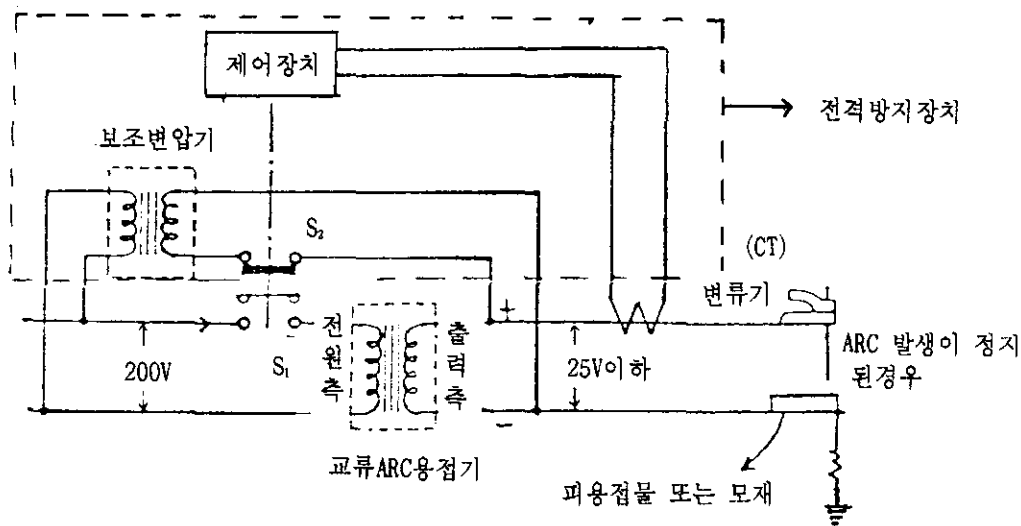


그림 5-1 전격방지장치의 결선도

위 그림에서 접선내의 부분이 전격방지장치로서 보조변압기와 제어장치로 구성되어 있는데, 이를 더 구체적으로 보면, 용접상태 유무를 감지하는 감지부, 이 감지신호를 증폭하는 증폭부, 증폭된 신호를 받아서 주제어장치가 개폐하도록 제어하는 제어부로 구성되어 있다. 이에 대한 동작순서는 그림 5-2와 같다.

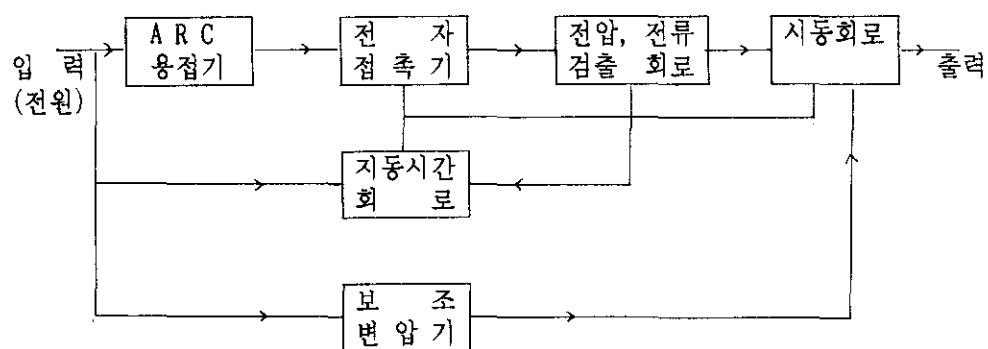


그림 5-2. 동작순서의 블록선도

일반적으로 불때 용접기 1입력측에는 Magnet와 Thyristor를 사용하고 있으며 이것을 구동시키기 위한 신호검출용 보조전압 공급 방법은 용접기 입력측에 Magnet와 릴레이 접점을 이용하여 입력 정격전압에 약 $1/4 \sim 1/5$ 배의 보조변압기로 공급하는 방식과 용접기 2차측에 25V 정도의 60(HZ) 상용주파수의 전원 공급방법, 2차측에 25 정도의 10~20KHz의 고주파 전원을 공급 하는 방법을 채택하고 있다. 무부하때 용접모재와 홀더 사이에는 25V 정도의 신호검출용 보조전압이 인가되며 Magnet와 Thyristor를 구동하는 신호 검출은 이 신호원 검출용 보조전압을 이용하여 용접모재와 홀더 사이의 상태에 따라 변화되는 전압 또는 전류량을 검출하여 Magnet나 전자접촉소자(SCR, DIODE, TRIAC)를 구동시킨다. 즉, 용접사가 용접을 행하려고 홀더의 용접봉을 용접모재에 접촉시키면 25V 정도의 신호원 검출용 보조 전원과 홀더와 용접모재사이에 폐회로가 형성되는 순간 폐회로상에 작은 전류가 흐르게 되며 이를 CT 검출, 출력측 양단의 전압검출, 임피이던스 검출 등의 방법을 이용하여 검출된 신호를 증폭하고 용접기 입력측의 Magnet와 Thyristor를 구동하여 주전원을 공급하고 이 전압으로 용접을 행한다. 용접 완료후 홀더를 모재에서 떼면 다시 회로를 자동 OFF시켜 입력측 주전원 공급을 중단하고 용접기 2차측 무부하전압을 25V이하로 저하시켜 감전위험 예방, 역률개선 및 절전효과로 용접기의 수명을 연장시켜주는 효과가 있다.

2.2 자동전격방지장치 성능상의 문제점

자동전격방지장치의 신호검출에 의한 제어방식은 점접식과 무접점방식이 있다.

즉, 제어부의 주접점을 구동시키려면 점접식인 경우 마그네트 스위치의 구동 코일전압, 무접점식일 경우 SCR이나 TRIAC의 게이트 전압이 필요하다.

그런데, 이 양자는 각기 · 전기적 특성에 장단점이 있는데 이를 보면

다음과 같다.

접점식은 가격이 싸고 SCR 등에 비해 노이즈의 영향이 적으나 시동시간이 늦어 아아크 발생이 빨리 되지 않는다. 작업자가 용접을 행하기 위해 용접봉을 모재에 접촉시켜 아아크발생이 일어나기 까지의 과정은 용접봉의 용접모재 접촉 → 신호원 검출 → 신호 증폭 → 논리소자 동작 → 릴레이 동작 → 마그네트 동작 → 용접기 포화 → Arc 발생으로 이루어지는데 이 시간을 시동시간이라 하며, 이 응답시간이 늦어 현장에서 사용을 기피하는 경향이 많이 있어 왔으나 최근에는 기준치인 60ms 보다 빠른 20ms이내로 많은 개선이 이루어졌다. 또, 마그네트는 동작 회수가 많으면 접점이 고열 등으로 융착되거나 마모되는 단점이 있다. 무접점식은 접점식에 비해 시동시간이 빠르고 SCR이나 TRIAC의 동작특성이 마그네트에 비해 확실하기 때문에 아아크 발생이 빠르다.

일반적으로 반도체 소자는 정격이상의 과전압이 한번이라도 가해지면 치명적인 손상을 받아 열화되어 버리고 만다. 반도체 소자는 특성상 사용시 열이 많이 발생하며 열에 약하기 때문에 방열대책이 무엇보다 중요하다.

또, 어떤 원인에 의해 Surge 전압이 인가되었을때 소자가 소손되는 경우가 있으며 이에 대한 대비책이 있어야 한다.

따라서, 자동전격방지장치의 제어 방식이 접점식이든, 무접점방식이든지를 막론하고 그 전기적 특성이 장단점을 가지게 마련이고, 자동전격방지장치는 교류 아아크 용접기의 전기적 특성과 상호 영향을 주고 받는 불가분의 관계가 있으므로 이 양자를 따로 떼어 놓고 생각할 수 없다. 더구나, 교류 아아크 용접기는 일종의 누설변압기로서 효율이 나쁘기 때문에 용접시 자체내에서 많은 열이 발생하고, 또 작업현장에서는 전압변동이 심하여 이론적인 것으로만 규명되지 않은 여러가지

현상이 발생되고 있다.

여기서, 설문조사와 현장 실태조사에서 드러난 문제점을 보면 다음과 같다.

- (1) 교류 아아크 용접기 제작 설계시 자동전격방지장치 부착할때의 전기적 특성고려가 전혀 없다. 따라서, 양자간의 전기적 특성이 매치되지 않으므로 인해 생기는 트러블이 고려되지 않고 있다.
- (2) 자동전격방지장치의 구조상 결함이 있어 해수에 의한 내부의 부식, 습기 침투 등으로 오동작, 고장 또는 소손의 원인이 되고 있다. (사진 5-1)

성능검정 규격에서의 구조점사 판정 기준을 보면, 구조일반의 판정기준은 “양질의 재료를 사용하고 튼튼한 구조이어야 한다.”고 규정하고 있으나, 정성적인 기준에서 오는 합격기준의 모호성은 메이커에 따라 여러가지 모양의 케이스와 재질을 사용하여 용접현장의 열악한 환경에 오래 견디지 못하는 구조적 취약성을 안고 있다.

현재 유통되고 있는 전격방지장치의 대부분은 방수처리를 위하여 접합부에 천연고무 재질의 패킹을 하고 있으나 작업 환경에서의 급격한 온도변화 등으로 재질이 경화되고 변형되어 습기가 침입하는 원인이 되고 있다.

또, 회로소자의 온도상승을 효과적으로 차단하기 위해서는 그 구조가 방열 구조이어야 하는데 현재 이에 대한 설계기준이 없는 실정이다. 여기서 구조적 결함에 대해 구체적으로 적시하면 다음과 같다.

- ① 염분에 의한 case 내부의 부식, 습기로 인한 부품의 오동작 소손
- ② 방수처리 미비
- ③ 충격, 진동에 의한 내부회로의 파손

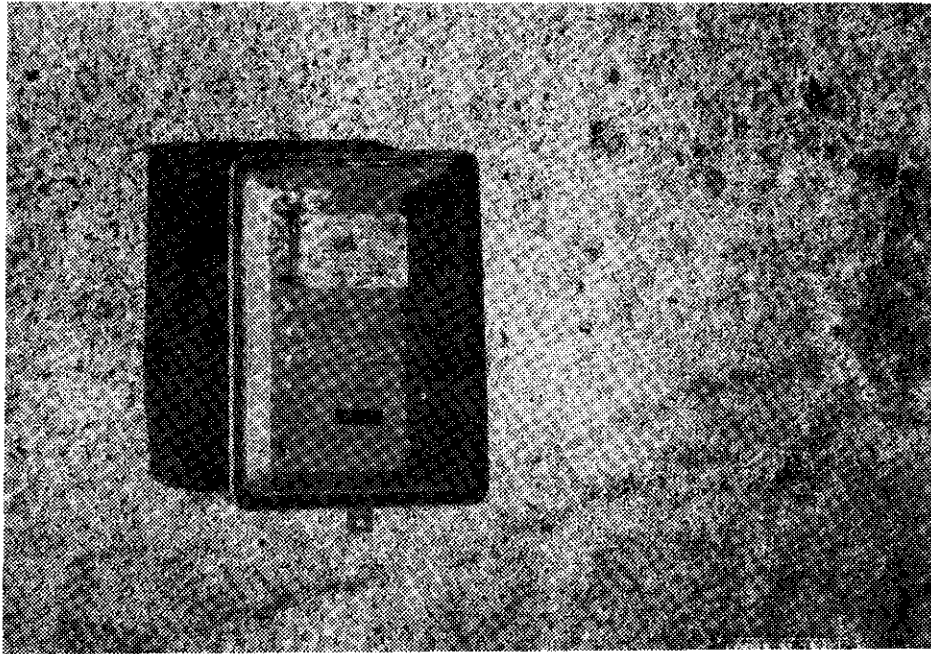


사진 5-1 전격방지기 케이스의 염분, 습기 등으로 인한 부식 모습

- (3) 고저항 시동형의 자동전격방지장치에서 1개의 전원에 여러대의 용접기가 병렬로 접속되는 경우 다른 용접 부하전류에 의해 영향을 받게 되며, TIG 용접기에서 발생하는 고조파의 영향으로 오동작 위험이 있다.
- (4) 변류기(CT)에 의한 전류의 변화를 신호원으로 검출하는 방식에서 재질이 나쁜 CT를 사용하여 동작 중 소손하는 경우가 상당히 많이 발생하고 있다. (사진 5-2)

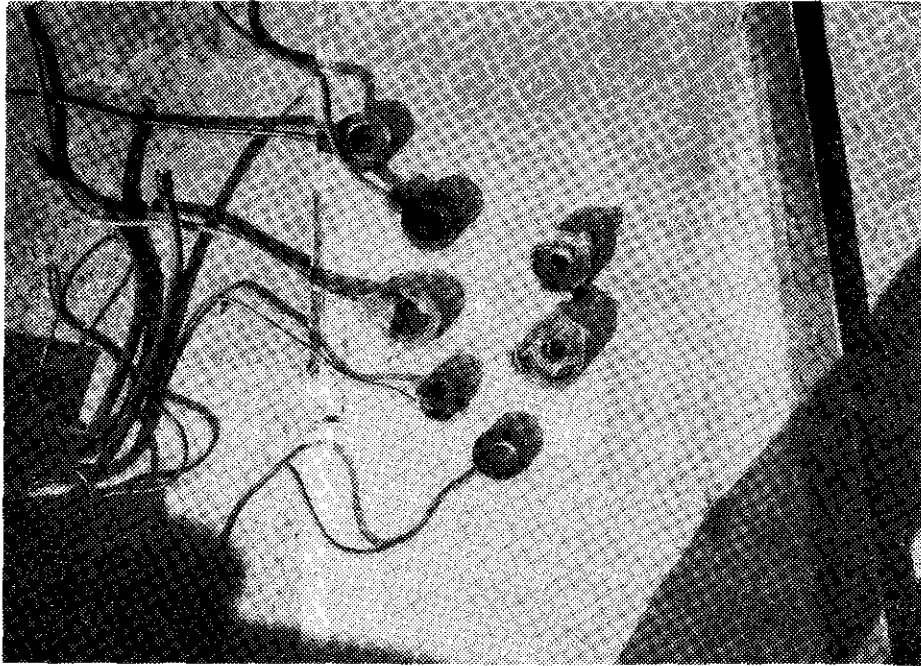


사진 5-2 불량 CT 시용으로 소손된 경우

- (5) 반도체 제어방식의 경우 소자에서 발생하는 열로 인해 PCB 자체가 소손되는 경우가 많다.
- (6) 440V 전원 방식을 채택하고 있는 사업장에서는 여기에 적합한 전격방지장치 검정품이 현재 2종 밖에 없고, 소자가 내전압 성능이 좋지 않다.
- (7) 고장이 잦으며 내구성이 좋지 않다.

현장 실태조사에서 인터뷰한 용접 관계자들의 대부분이 잦은 고장과 수명이 짧아 고장수리에 많은 시간이 소비되고 경제적 손실이 많음을 호소하고 있다.

2.3 기타 부속장치의 문제점

자동전격방지장치의 성능과 동작에 영향을 미치는 그외의 요인을 보면 다음과 같다.

- (1) 용접 케이블의 손상을 그대로 방치한 채 사용하고 있다.

용접 케이블은 용접현장의 환경이 가혹한 상태에서 사용되기 때문에 전기설비 기술기준에 관한 규칙에서 반드시 용접용 케이블 또는 캡 타이어 케이블을 사용하도록 규정하고 있다. 특히, 철판이나 강재를 많이 사용하는 조선업, 기계기구 제조업에서는 철판의 모서리 등 날카로운 부분에 Cable이 손상을 받기 쉬우며 이로 인한 누전과 오동작이 발생의 원인이 되고 있다.

특히, 바닷가에 위치한 조선소에서는 천연고무로 절연된 케이블은 염분 등에 의한 부식으로 손상이 빨리 발생되고 있다.

- (2) 용접봉 홀더는 절연 홀더를 사용하도록 하고 있으나 그렇지 않은 경우가 많고 외부 충격 등에 의해 파손된 홀더를 그대로 사용하고 있다.

- (3) 용접기에 공급되는 전원이 여러대를 동시에 사용할 수 있도록 되어 있어 전압 변동이 심하다.

2.4 유통상의 문제점

- (1) 형식검정시 제출한 공시품과 성능이 다른 전격방지장치가 유통되고 있다.

일부 제조업자가 성능검정시에는 부품의 성능이 우수한 것을 사용하여 합격에 통과하고 실제 유통시에는 가격이 싸고 성능이 형편없는 부품으로 대체하여 사용자에게 공급하고 있으며, 사용자 또한 성능의 양부를 생각하기 앞서 값이 저렴한 전격방지기를 요구하기 때문에 양질의 전격방지장치 보급이 장애를 받고 있다.

또, 제작업체간의 과당 경쟁은 필연적으로 덤핑 판매로 이어지고 일

부 사업장에서는 감독관청에서 단속을 하기 때문에 성능에 관계없이
마지못해 부착하는 경우도 있는데 주로 중소사업장 이하에서 이러한
인식을 하고 있는 것으로 보여진다. 심지어 일부 사업장에서는 전격
방지장치의 케이스만 용접기에 부착하여 이 장치가 부착된 것처럼
위장하고 있는 경우도 있다고 한다.

(2) 품질이 조악한 교류 아아크 용접기가 시중에 많이 유통되고 있다.

현재 용접협동조합에 가입되어 스스로 양질의 용접기 제조에 노력하
고 있는 용접기 제조업체는 약 30여개소이며 이중 KS규격 획득을
한 업체는 몇 군데에 불과한 실정이다. 심지어 제조 명판도 없이
유통되고 있는 제품은 유통과정에서 용량 등을 속여 그 안전성에 심
각한 문제점을 안겨 주고 있는 실정이나 이에 대한 단속이나 규제
가 거의 이루어지지 않고 있다.

가격이 싼 불량 용접기의 유통은 비교적 제작공정이 단순하여 영세한
제조업체가 재질이 조악한 것을 사용하여 만들어 판매할 수 있는
환경에서 기인하며, 자금력과 기술력이 있는 제조업체는 아아크 용접
기의 제작을 기피하고 있는데도 품질향상이 이루어지지 않고 있는
하나의 원인이다.

(3) 비검정 전격방지장치가 유통되고 있다.

이번 실태조사에서 나타난 결과를 보면 전체 부착대수의 46.4%인
3,113대가 비검정품 또는 불합격, 기타(외제)인 것으로 집계되어 이
에 대한 대책이 절실하다.

2.5. 자동전격방지장치 성능상 문제점에 대한 대책

자동전격방지장치가 교류 아아크 용접기의 방호장치로서 전격으로부터
용접작업시 감전을 방지해주는 기능을 발휘하기 위한 대책은 다음과 같
다.

- (1) 구조상 결함에 대한 성능검정규격의 보완이 있어야 한다.

현행 성능검정규격에서 구조검사는 ①구조일반, ②외함, ③주제어장치 ④인출선, ⑤접지단자 ⑥보울트 나사 등 ⑦표시 등의 항목을 검사하고 있으나 이중 구조일반에 대해서는 양질의 구조, 튼튼한 구조이어야 한다는 정성적인 판정 기준으로 되어 있다.

그러나, 용접작업은 용접대상에 따라, 옥내외에 수시로 이동하면서 이루어지므로 심한 충격이 따를 수도 있고 전박위, 고층건물의 고소작업, 바닷가 야적장, 습기에 노출된 건설현장 등의 장소에서, 또 여름철의 뜨거운 열기, 겨울철의 혹한 등 극한적인 작업환경이 대부분이므로 이러한 조건에 견디는 구조를 충족시키는 기준이 마련되어야 한다.

더구나, 전격방지장치는 내부가 전기적 회로와 소자로 구성되어 있어 외부 환경에 민감한 반응을 나타내므로 이를 보호해주는 튼튼한 구조가 대단히 중요한 문제이다.

이에 대해서는 재질에 대한 광범위한 연구가 뒤따라야 하며, 끊임없는 실험에 의해 입증된 데이터가 그 뒷받침이 되어야 할 것이다.

- (2) 서지 전압 방지용 보상회로를 내장 하여야 한다.

자동전격방지장치의 내부 전자부품은 필연적으로 외부의 Noise에 따라 오동작할 우려가 있고, 낙뢰, 기타 전기적 과도상태가 고장을 일으키는 요인으로 이에 대한 대책이 필요한 것이다.

- (3) 메이커는 제품의 성능이 보장된 부품을 사용하여야 하며, 이에 대한 하자 보증제도가 마련되어야 한다.

시중에 유통되고 있는 검정품 전격방지기의 판매가격은 10~23만원 정도이며, 검정규격이란 최소한의 안전계수이므로 제작업체에서는 이 최소한의 기준에 통과만 하면 이윤의 극대화를 추구하기 위해 값싼

소자를 사용하고 있다. 그러나 전자부품이라는 것은 일시적으로 동일한 성능을 유지하더라도 내구성은 많은 차이가 나는데도 불구하고 제품판매 이후의 고장이나 이에 대한 A/S, 제품 성능보증 등에 대해서는 전혀 책임을 지지 않는 것도 용접현장에서 일어나는 트러블의 한 원인이 되고 있다.

- (4) 양질의 교류 아아크 용접기가 보급되고 유통되는 대책이 강구되어야 한다. 용접기는 누설자속의 변화를 이용하여 2차 부하전압을 조정하는 기구로서 철심의 재질에 따라 전기적 특성이 변화하고 이것이 전격방지장치의 특성에 영향을 주고 있기 때문이다.

따라서, 아아크 용접기는 2차 부하전압에 비해 2차 전류가 높은 수하특성이 있으므로 온도상승 관계, 절연내력 특성, 자속밀도, 투자율, 규소함유량에 따른 누설 포화자속 밀도의 최적치 등을 고려한 설계가 이루어져야 할 것이다. 다행히 용접협동조합에서 KS 규격을 중심으로 성능검정규격(안)이 제정되어 한국기계연구소 부설 해사기술연구소에서 검정을 하는 방안이 강구되고 있다.

- (5) 용접기 제조업체가 자동전격방지장치 제조에 참여하는 것이 바람직하며, 이를 유도하기 위한 정책적 배려가 고려되어야 한다.

현재 자동전격방지장치의 성능향상이 이루어지지 않고 있는 가장 큰 원인의 하나는 제조 메이커의 영세성이다.

32개 제조업체중 종업원 10인하가 25개소이며, 형식검정 1개 모델 합격업체가 12개소로 전체모델 55건의 46.1%인 것으로 입증되는 바와 같이 기술개발에의 투자는 전혀 이루어지지 않고 있는 실정므로 건설하고 기술이 비교적 많이 축적된 용접기 제조업체가 참여하여 용접기와 전격방지장치의 전기적 특성을 완벽하게 고려한 설계 및 제조가 이루어져야 할 것이다.

- (6) 자동전격방지장치 동작여부를 점검할 수 있는 휴대용 진단장비의 보급을 장려하여야 한다.

이 장비는 현재 우리 연구원에서 개발되어 각 기술지도원에 보급될 예정이나 보급범위를 확대하여 노동부 지방관서의 근로감독관이 현장 점검시 활용하거나 각 사업장의 안전관리부서에서 활용하면 전격방지장치를 형식적으로 설치하여 놓고 그 기능을 정지시키는 행위를 없앨 수 있을 것이다.

3. 용접작업상의 문제점과 안전대책

3.1 용접작업상의 문제점

이번 실태조사에서 나타난 용접사의 학력별 분포는 공업고등학교 졸업이 12.1%, 중졸 48.5%, 인문고졸 26.3%, 직업훈련원 졸 10.2%, 기타의 순이다.

여기서, 공고 및 직업훈련원 졸업자는 용접기술을 체계적으로 습득한 전문인력으로 간주되며, 이들은 피교육시 자동전격방지장치가 부착된 용접기로 용접기술을 습득하여 용접시의 아아크발생이 늦는다는 등의 특성에 익숙해져 있으며 작업안전수칙을 잘 지키는 편으로 분류할 수 있으나, 전체의 22.1%에 불과한 숫자이다.

나머지는 기술습득 경로가 체계적인 교육과정을 거치지 않았기 때문에 대부분 개인 편의적이고 관행적인 작업방법을 고수하고 있으며 일반적으로 안전수칙 준수에 능동적인 편이라고 보기 어렵다.

이번 실태조사는 전문적인 용접사가 많은 조선업을 대상으로 하였는데도 이러한 분포임을 감안하면 기타 업종에서의 상황은 말할 나위가 없을 것이다.

특히 건설업 등에서 이동이 많고 고소작업이 많으며, 전기설비 등이 임시적인 용접작업 환경은 전기적으로 취약성이 상존하는 곳이므로 제조업에 비해 안전에 배가의 노력을 기울여야 함에도 기술자 특유의 자기 중심적인 아집 등으로 상대적인 불안전 요소가 많다고 볼 수 있다.

일반적으로 용접기술자는 전기에 관한 전문지식이 부족하여 용접기를 과부하상태로 사용하며, 케이블이나 홀더를 절연이 불량한 상태로 방치하고, 전격방지장치의 동작 스위치를 나무조각 등으로 끼워 방호장치로서의 기능을 무력화시키는 등의 불안정한 행동을 하는 경우가 많다.

3.2 안전작업상의 대책

(1) 아아크 용접의 일반적 안전수칙

- ① 용접장치의 설치·접지·작동상태가 양호한지 확인한다.
- ② 용접수행시는 알맞은 보호의를 항상 착용한다.
- ③ 용접, 연마 및 절단시에는 반드시 보호안경을 착용한다.
- ④ 작업장은 깨끗이 청소하고, 항상 위험으로부터 보호한다.
- ⑤ 특별한 대책없이 밀폐된 장소에서의 작업을 피한다.
- ⑥ 가연성 물질이 들어 있는 용기에서의 작업은 위험하므로 피한다.
- ⑦ 통풍설비가 없는 밀폐된 용기나 격실 등에서의 용접은 피한다.
- ⑧ 납·카드뮴·크롬·망간·황동·청동·아연 및 아연도강(판)의 용접시는 자동배기 설비를 반드시 설치한다.
- ⑨ 유독가스나 습기가 있는 장소에서의 용접시는 고무장화를 반드시 착용하고 잘 절연된 작업대(platform) 위에서 작업한다.
- ⑩ 용접케이블의 접속시 전기적 접촉은 견고하고 잘 절연되어야 한다.
- ⑪ 낡고, 손상 및 벗긴 홈이 있는 전선(cable)은 사용하지 않도록 한다.
- ⑫ 작업장 바닥에 떨어진 용접봉 동강이는 적당한 용기에 저장하도록

한다.

- ⑬ 용접시 발생하는 아아크 빛을 직접 받지 않도록 한다.
- ⑭ 유기(oil)가 있는 곳에서의 작업을 피한다.
- ⑮ 평지바닥에서의 작업시 발판·사다리·작업장 바닥이 견고한지 확인한다.
- ⑯ 난간이 없는 높은 곳에서 작업시는 안전대를 착용한다.
- ⑰ 냉각수 장치가 있는 기구를 사용시는 항상 냉각수가 새는지를 점검한다.



(2) 보수 및 점검 대책

① 일상점검

가. 전격방지장치는 매일 작업전에 반드시 장치가 정상적으로 동작하는지를 확인하여야 하며, 이상시에는 고장 부분을 수리한 후 사용한다.

나. 동작 스위치를 나무조각 등으로 고정하는 것은 감전의 위험뿐만

아니라 장치를 소손시키는 원인이 되므로 절대 금한다.

다. 동작 표시등은 멀리서도 동작이 식별되도록 청결을 유지한다.

② 이상 동작시 점검 방법

동작에 이상이 발생하면 아래표에 따라 점검을 하거나 공무부 등
수리부서에 신속한 수리를 요청한다.

이 상 상 태	원 인	처 리
용접봉을 모재에 접촉시켜도 동작하지 않는다. 1. 점검스위치가 동작하지 않는다. 2. 스위치는 정상적으로 동작	① 퓨우즈 용단 ② 프린트 기판(PCB)고장 ① PCB 고장 ② 보조접점 접촉 불량 ③ CT 고장 ④ 퓨우즈 용단	① 퓨우즈 교환 ② PCB 교환 ① PCB 교환 ② 접점을 닦아내고 케이 스를 수직으로 한다. ③ CT 교환 ④ 퓨우즈 교환
주접점 스위치가 투입된후 ON, OFF 되지 않는다. 1. 동작 표시등이 점등되 어 있다. 2. 동작 표시등이 꺼져 있 다.	① 용접기의 결선이 잘못 되어 있다. ② 용접기 스위치의 OFF 상태	① U, V 선을 반대로 접속 한다. ② 용접기 스위치 ON
마그네트 스위치가 떨리고 소리를 낸다.	① 전원전압의 정격이 맞 지 않는다. ② 전압조정 탭 선택이 부적당	① 전원 개선 ② 탭 조정을 한다.
지동시간이 아주 짧다.	PCB 고장	PCB 교환

제 6 장 결 론

교류 아아크 용접기는 여러 사업장에서 용접작업에 널리 쓰이고 있는 법정 위험기계기구의 하나로서 감전재해 예방을 위한 안전장치인 자동전격방지장치를 의무적으로 부착토록 규정하고 있다. 그러나, 법상 의무사항으로 시행된지 5년이 경과하는 동안 오동작, 시동감도 특성이 좋지 않아 아아크가 늦게 발생하는 문제, 부품간의 전기적 상호간섭으로 인한 고장 등 여러 원인으로 용접작업 현장에서 끊임없이 트러블이 발생하여 안전장치로서의 순기능 보다는, 잦은 고장으로 인한 경제적 손실을 초래하고, 용접을 방해하는 귀찮은 존재라는 부정적이고 역기능적인 인식이 잠재되어 있는 것이 현실이다.

이러한 문제점들에 대한 대책수립과 해결책 강구는 “강요된 안전”이 아닌 “자발적으로 참여하는 안전”이라는 측면에서 당연한 과제가 아닐 수 없다.

이러한 과제의 목표 달성을 위하여서는 현상파악이 중요하며, 당연한 필요성에 따라 사업장의 사용실태조사를 실시하였고, 이 결과를 바탕으로 문제점을 분석하고 대책을 제시하고자 하였던 바 결론은 다음과 같다.

- (1) 자동전격방지장치의 성능향상과 안전장치로서의 기능을 다하기 위하여서는 기술개발에 많은 노력을 하여야 한다.

현재 이 장치의 제조에 참여하고 검정을 신청하는 업체들은 대부분 자본면에서 영세하여 기술개발에 투자할 여력이 없다고 판단되므로 우리 연구원이 연구의 주체가 되어 타 연구기관과 공동연구를 수행하되 그 비용은 산재예방기금 등을 활용하는 방안이 검토될 수 있을 것이며, 또 여력이 있는 제조업체가 공동으로 참여하는 방안도 강구될 수 있을 것이다.

실태조사에서도 이 장치의 성능향상이 가장 시급히 해결해야 할 과제로 보고 있는 사업장이 71.4%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

따라서, 우리 연구원에서는 이 연구과제로 92년도에도 연구가 진행되어 산재예방의 가시적 연구 결과가 도출되도록 해야할 것이다.

- (2) 성능검정규격을 보완하여 보다 성능이 강화된 규격을 제시함으로서 제조업체가 기술개발을 하도록 유도하는 방안이 검토되어야 한다.
실태조사 결과, 전격방지기의 전기적 특성을 현저히 약화시키는 것은 습기, 염분 등의 침입으로 인한 부식, 과열 등이므로 구조부분의 판정기준을 대폭 강화시켜야 한다.
- (3) 제조업체는 양질의 제품을 보급하겠다는 양심적 자세를 가져야 하고 유통상의 여러 모순점이 제거되도록 하는 방안이 강구되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 羅商均外2, 熔接工學, 螢雪出版社, PP.75~109(1982)
2. 工業教育研究所編, 熔接技術, 學研社, PP.125~138, 289~310(1982)
3. 尹斗根, 最近熔接技術과 作業方法, 文運當, PP.1~37(1990)
4. 韓國產業技術센터, 용접기술실무교육, P.467~500
5. Howard B, Cary, Modern Welding Technology, PP.47~74(1979)
6. 安藤弘平, 清原道世, 新版電氣熔接機器(上), 産報, PP.74~94, 198~201(1976)
7. 李信載, 尹楊培外, 交流 아아크 熔接機 安全, 勞動科學研究所(1984)
8. 한국산업안전공단, 산업안전업무편람, 법규편 (1990)
9. 산업안전보건연구원, 위험기계기구 방호장치의 규격 및 해설, PP.79~113 (1991)
10. 산업안전보건연구원, 위험기계기구 방호장치 제조관계자 교육, PP.55~81 (1991)
11. 산업안전보건연구원, 주요산업재해 분석 보고서, (1990)
12. 노동부, 위험기계·기구 방호조치 기준 P.6 (1991)
13. 한국용접공업협동조합, 용접기기산업의 현황(90 국제용접전시회), P.40~43 (1990)
14. 朴旻鎬, 誘導機器, 東明社, P.31~41, 1971
15. 공업진흥청, KS규격(KSC9602, 9607, 9623, 9624)
16. 中央勞動災害防止協會, 勞動安全衛生規則の解説, P.38~44, 135~145, 1984
17. " , 安全, 1988. 6月號
18. 千熙英, 電力電子工學, 清文閣, P.16~32

“인간존중”
“무재해 산업사회 창조”

연구결과보고서 (기연 91-081-03)

발 행 일 : 1991. 12.

발 행 인 : 원 장 김 원 갑

작 성 인 : 연 구 원 이 형 수

발 행 처 : 한 국 산 업 안 전 공 단
산 업 안 전 보 건 연 구 원

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

전 화 번 호 : (032) 518-6484/6

(02) 742-0230

인쇄 : 금강문화인쇄 (02)279-6901

〈바매품〉