

# 아크熔接作業에서의 感電災害와 自動電擊 防止裝置

전기안전지식을 위해 이번 달부터 재해사례를 기초로 하여 그 원인을 검토하고 방지를 위한 대책과 기술에 관한 안전지식을 소개한다. 이번에는 용접작업에서의 감전재해의 방지에 대하여 설명하기로 한다.

교류 아크 용접작업에 의한 감전재해는 얼마 전까지만 해도 매우 많았고 많은 작업자가 사망에 이르렀는데 자동전격방지장치(이하 전방장치로 약한다) 등의 보급으로 오늘날에 와서는 현저하게 격감되고 있다. 그러나 근년에 와서 종래의 저저항시동형의 전방장치에 대하여 작업성이 좋은 고저항시동형의 전방장치가 보급되게 되었는데 그 사용방법의 미숙에서 때때로 사고가 발생하고 있다. 여기서 이번에는 고저항시동형의 전방장치를 내장한 교류아크 용접기에서 발생한 감전재해 사례를 들고 그 원인이나 대책에 대하여 해설하고 동시에 이같은 재해가 발생할 가능성이 있는 다른 원인 및 이같은 종류의 재해를 방지하기 위한 지식이나 대책을 설명한다.

## 1. 交流아크熔接機에 의한 感電災害와 電防裝置의 역할

아크 용접작업에서의 감전재해 사례를 검토하기 전에 예비지식으로서 교류 아크용접기에서 감전재해가 용이하게 발생하는 이유, 전방장치가 그 방지에 유효한 이유 등을 간단히 설명한다.

### (1) 交流아크熔接機에 의한 感電災害

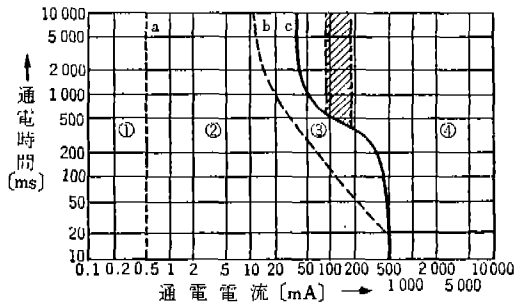
교류 아크용접기는 보통 1차측이 200V, 2차측이 무부하전압으로 최고 95V이하가 되도록 제작된 특수한 변압기이다. 용접작업은 용접기 2차측의 용접봉과 母材와의 사이에서 소요의 크기의 용접전류에 의한 아크를 발생시켜 실시한다. 작업자가 잡는 용접봉 홀더와 용접기와는 용접용 케이블로 배선되어 작업자의 위치와 용접기가 놓인 장소가 일반적

으로 떨어져 있기 때문에 용접작업시에 용접기 1차측의 전압에 접촉하여 감전재해가 발생하는 예는 거의 없다.

그러나 용접기 2차측 회로(이하 용접회로라 한다)에는 용접봉의 심선 등 충전된 부분이 항상 노출된 상태로 되어 있고 또한 작업자가 서있는 위치나 주위에는 定盤이나 철골 등의 도전성이 높은 물체가 많다는 등 감전재해가 용이하게 발생할 수 있는 환경하에 있다. 또한 아크 발생중의 용접기 회로의 전압은 아크 전압(30~40V)으로 저하되어 있기 때문에 감전재해는 아크 유지시에 용접회로에 발생하는 95V 정도의 무부하전압에 접촉하여 발생하고 있다.

용접작업에서는 감전재해가 용이하게 발생할 수 있는 조건(발汗에 의하여 신체나 의복이 젖어 있고 또한 철골 등의 접지체에 신체의 일부가 접촉되어 있다)이 갖추어져 있으므로 95V 정도의 전압에서

도 인체에는 심실세동이 야기될 정도의 전류가 흘러 사망사고에 이르는 위험성이 내포되어 있다. 예를 들면 용접기 2차측 권선의 저항이나 인체와 2차측 회로와의 접촉저항을  $0\Omega$ 이라 하고 인체저항을  $500\sim 1000\Omega$ 이라 가정하면 인체에는  $195\sim 95mA$  정도의 전류가 흐른다. 그림 1은 인체에 흐르는 전류-시간과 인체반응의 관계를 든 그림인데 이 정도의 전류가 0.5초 이상 인체에 흐르면 심실세동이 발생할 위험성이 있으며 일단 심실세동이 발생하면 가령 충전부에서 떨어져도 심실세동은 그치지 않고 주검에 이른다고 한다.



(注) ①: 반응없음 ②: 유해한 생리적 영향없음 ③: 심실세동의 위험없음 ④: 심실세동의 위험성 있음

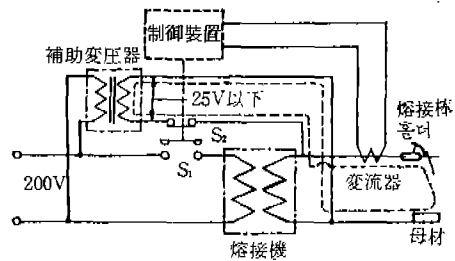
〈그림-1〉 人体에 흐르는 電流와 人体의 反應 (60Hz)

## (2) 電防裝置의 역할과 기구

전방방지란 용접회로의 충전부에 접촉하여 발생하는 감전재해를 방지하기 위한 안전장치이며 이장치를 용접기에 부착하면 아크 휴지시의 용접회로의 전압이 자동적으로 25V 이하의 안전전압으로 저하되는 구조로 되어 있다. 또한 아크를 발생시킬 때의 기동시의 조작은 보통 용접작업을 할 때와 같이 용접봉을 모재에 접촉하는 것만으로 아무 조작도 하지 않고 순시에 용접기 본래의 2차 부부하 전압을 발생하는 회로로 전환되어 즉시 아크 전압으로 이행되므로 용접작업에 하등의 번잡성도 없이 안전이 확보된다.

전방장치는 개폐부(주접점), 보조변압기, 제어장치 등으로 되어 있으며 그 구조는 주접점을 용접기

의 1차측에 설치한 것과 2차측에 설치한 것으로 분류되는데 기구적으로는 마찬가지이다. 그림 2는 용접기의 1차측에 주접점( $S_1$ )을 설정한 전방장치의 기본원리도이며 아크 휴지시에는  $S_1$ 이 개방되고 보조접점( $S_2$ )이 닫혀 있기 때문에 용접봉에는 보조 변압기에서의 25V 이하의 전압이 발생하고 있다. 그러나 용접봉은 모재에 접촉시키면 그림의 점선과 같이 전류가 흘러 이것을 검출한 제어장치의 작용으로  $S_1$ 이 닫히고  $S_2$ 가 개방되어 용접기의 1차측에 정규의 전압이 가해져서 아크가 발생하는 상태가 된다. 아크가 발생하고 있는 동안에는 아크 전류를 검출한 제어장치의 작용으로 이 상태가 유지된다.



〈그림-2〉 電防裝置의 基本原理圖

이와 같이 전방장치가 부착된 용접기는 용접봉을 모재에 접촉시켰을 때 흐르는 전류의 크기가 소정의 값 이상이 아니면 제어장치가 작동하지 않고 결과적으로는 아크를 발생시킬 수가 없다. 이 전류의 크기를 바꾸는 요소는 용접봉을 모재에 접촉시켰을 때의 접촉저항이다. 제어장치가 작동할 수 있는 접촉저항의 최대치를 전방장치의 시동감도라고 하며 이 값은 아크 발생에 크게 영향을 미친다.

이전에 제작된 전방장치는 시동감도가 매우 낮은(즉 접촉저항이 작은) 것 뿐이었는데 시동감도가 높으면 모재표면의 발청이나 용접봉 선단의 슬러그가 다소 있어도 아크의 발생이 용이하고 작업성도 높아지기 때문에 최근에는 시동감도가 높은 전방장치가 많이 사용되게 되었다.

## 2. 感電災害의 事例와 原因의 檢討

(1) 感電災害의 발생과 상황

재해는 항만의 하역장 건설공사로서 호안에서 약 850m 앞바다의 바다 속에 설치된 기초강관항에서의 용접작업에서 발생했다.

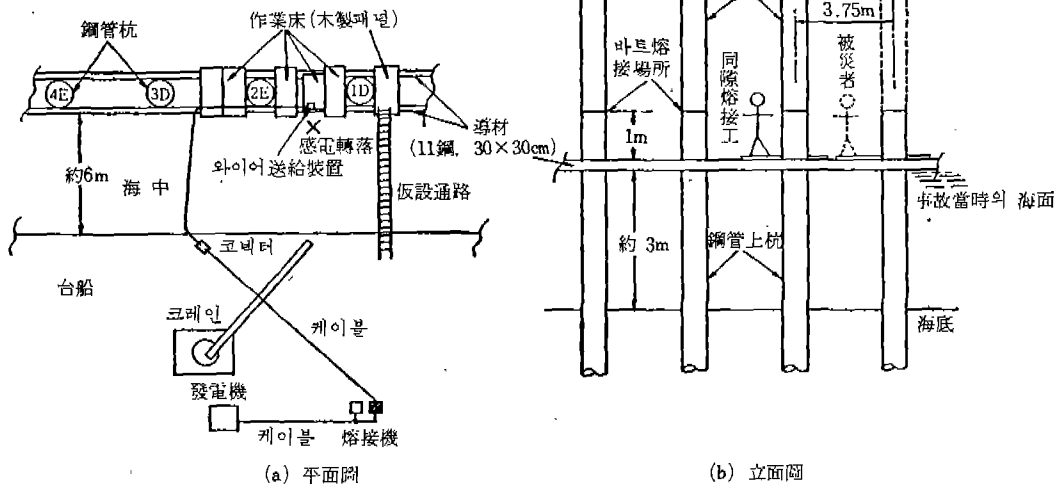
공사는 항만에 하역장을 건설하기 위해 바다 속에 강관항(직경 약 61cm, 길이 약 55m)을 가로 1렬로 13개씩 5렬을 설치하는 것이다. 강관항은 下杭과 上杭으로 되어 있으며 먼저 台船上의 크레인 으로 下杭을 소정의 위치로 달아올려 바이브로해머로 導材(공사의 준비단계로서 설치된 가설의 導坑 上에 가로 걸쳐진 H鋼 그림 3)上 1m 정도의 높이가 되도록 설치하고 다음에 上杭을 크레인으로 달아올려 下杭 상부와 바트용접을 하고 다시 강관전체를 제워 심도까지 설치하는 것이다.

작업은 피재용접공과 동료인 용접공의 2명이 각각의 반자동교류 아크 용접기를 사용하여 鋼管杭의 下杭과 上杭의 바트용접작업을 각각의 반원주부분(길이 약 96cm)씩을 맡아 하고 있었다. 용접작업에 사용한 설비는 고저항시동형(정격 시동감도 300Ω)의 전방장치를 내장한 교류 아크 용접기가 台船上에 놓이고 용접기 1차측 전압(교류 200V)은 역시

대선상에 놓인 엔진 구동발전기에서 얻고 있었다. 용접전류는 용접기 2차측에서 용접용 케이블로 작업장소까지 배선되어 작업장소 가까이 놓인 와이어나 송급장치에 접속되고 거기에서 3m 길이의 용접용 케이블을 통하여 용접 토치(手용접기에서 사용하는 용접봉 홀더에 상당하는 것)에 연결되어 있었다(그림 3 참조). 또한 대선상의 용접기는 용접봉 홀더를 사용하여 실시하는 수용접용의 것인데 피재자들이 사용하고 있던 와이어 송급장치는 이 자체 속에 와이어를 송급하기 위한 제어장치가 내장되어 수용접용의 용접기에 간단히 접속하여 반자동 용접기로서 사용할 수 있는 것이다.

사고는 피재용접공이 그림 3의 2E杭의 작업장에서 자기 담당범위의 반원주부분의 용접을 끝마치고 다음 용접장소인 1D杭(2E杭과의 거리는 약 3m)의 장소로 이동하는 도중에 발생했다. 동료인 용접공은 2E杭을 사이에 두고 피재용접공과 반대측의 위치에서 차광 마스크를 장착하고 용접작업을 하고 있었다. 피재용접공의 행동을 직접 목격한 사람은 없는데 재해발생 전후의 상황에서 재해는 다음과 같이 발생한 것으로 추정되고 있다.

피재용접공은 다음의 용접장소로 이동하기 위해



(그림-3) 感電災害發生現場의 略圖

와이어 송급장치(무게 약 18kg)의 프레임 위쪽을 오른손으로 들어 올려 용접 토치(무게는 3m의 케이블을 포함하여 약 5kg)를 왼손으로 잡은 형태로 폭 30cm의 도재를 통하여 2E杭과 1D杭의 거의 중앙까지 이동했다. 이 위치에 놓인 작업상(목재의 패널) 위에서 몸을 비트는 형태로 와이어 송급장치를 신체의 좌측에 놓으려고 할 때 (피재자는 그림 3의 평면도에서 대선측의 도재상을 걸어 왔기 때문에 신체의 우측은 바다이고 작업상은 없다) 용접 토치의 선단에서 약간 나와 있는 용접 와이어가 피재자의 왼쪽 가슴에 접촉하여 감전되어 바다로 전락했다.

검시결과 피재자는 해수는 마시지 않았고 왼쪽 가슴의 심장 부근에서 전류가 들어가 대퇴부에서 전류가 빠져 나간 전류흔적이 있었고 감전에 의한 심장정지로 사망한 것으로 단정되었다.

또한 그 날은 습도 및 기온이 높았고 피재자의 신체나 의복은 땀으로 상당히 젖어 있었던 것도 사실인 것 같다.

(2) 災害原因의 檢討

검시결과에서 통전경로는 용접 토치(와이어) - 신체(가슴-대퇴부) - 와이어 송급장치의 프레임 - 제어용 어드선 - 도체(용접기의線)인 것으로 추정된다 또한 와이어 송급장치의 프레임을 잡고 있던 오른손은 작업용의 가죽장갑을 착용하고 있었기 때문에 전류의 유출점이 되지 못한 것으로 생각된다.

그러나 사고가 발생한 용접기에는 전방장치가 내장되어 사고 후의 조사에서 정상이라는 것이 확인되고 있다. 따라서 피재자가 접촉한 용접 와이어에는 전방장치의 무부하전압인 18V밖에 발생하지 않은 것이다. 전격의 위험한계에 관한 현재의 상식에서 고려할 때 18V에서 감전사한다고는 생각할 수 없으므로 거기서 어떤 이유에서 전방장치가 작동하지 않고 용접 와이어에는 용접기의 무부하전압인 85V가 나타난 것으로 생각하는 것이 타당하다. 이와 같은 상황이 발생하는 케이스로서 다음의 3가지를 생각할 수 있다.

① 작업장소가 해변상이고 피재자의 신체나 의복은 땀으로 상당히 젖어 있었을 뿐만 아니라 상당히

열분이 부착되어 있었던 것으로 생각된다. 따라서 가슴과 대퇴부의 사이의 피부표면이나 의복 표면의 저항이 작고 340Ω 정도까지 저하되어 있었다고 가정하면 용접기에 내장된 전방장치는 고저항시동형(정격시동감도는 300Ω인데 실제로는 340Ω 정도에서 작동하여 전방장치의 주접점이 달린다. 그 동안의 시간은 0.06초 이내이다)이며 용접 와이어에는 순시에 용접기의 무부하전압인 85V가 나타난다. 거기서 새로 가슴에 85V의 전압이 가해져 감전사고로 발전한 것으로 추리하는 케이스.

그러나 피재자는 바다로 전락하여 의복은 해수에 젖어 있어 측정할 수 없다. 또한 인체의 피부저항은 자질부가 아니면 건조시에도 천~수천Ω이며 그것이 많이 나거나 물에 젖어 있으면 그 값은 1/10 ~ 1/25 정도로 저하된다고 하는데 이에 의한 전방장치의 작동의 확인은 실제로는 불가능하다.

② 와이어 송급장치는 작업장소에 들어온 이후 18일 정도 경과되고 있는데 그 동안에 절연성능의 체크를 하지 않은 상태로 潮風에 들어난 상태로 사용되고 있었다. (장치는 작업장소에 가져온 첫날에 지입허가원을 위해 일반적인 점검이 실시되었고 합격했다). 그러므로 이 동안의 사용이나 보관의 불실에서 절연저항이 340Ω 정도까지 저하되어 있었다고 가정한다면 전방장치는 아크 휴지중에도 주접점이 달리거나 개방되거나 하는 차타링 현상을 노정하고 있었다고 상상할 수 있다(주접점이 달려도 아크가 발생하지 않기 때문에 전방장치의 運動時間인 1~1.5초 후에는 주접점이 개방된다. 그러나 용접 회로 간의 저항이 340Ω 이하가 되어 있으면 전방장치의 시동시간인 0.06초 이내에 다시 주접점이 달린다).

주접점이 달려 있으면 용접 와이어에는 용접기의 무부하전압인 85V가 나타나 있으며 이 상태에서 피재자가 접촉하여 감전사고가 발생한 것으로 추리하는 케이스.

그러나 피재자가 바다에 전락했을 때 와이어 송급장치도 바다에 떨어져 해수에 잠겼기 때문에 절연저항의 측정은 불가능했다.

③ 와이어 송급장치에는 아크 휴지상태에서 용접

와이어를 송출하거나 되돌리거나 하기 위한 기능으로서 인칭버튼을 갖추고 있다. 즉 인칭버튼을 누르면 와이어 송급용의 모터에 전류가 흘러 구동하는 구조이다. 그러나 이 구동전류는 그림 4의 점선과 같은 회로를 형성하기 때문에 전방장치측에서 보면 주접점을 닫기 위한 시동전류가 흐른 것과 같은 것이다. 주접점이 닫히는지 여부는 이 시동전류의 크기, 즉 용접회로 간의 저항 즉

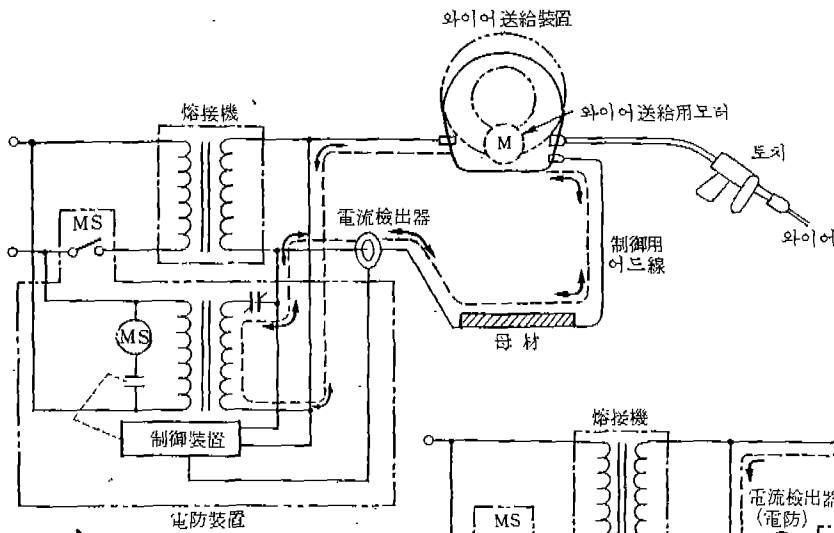
용접회로 전방장치의 출력측무부하전압(18V)  
간저항 와이어송급용모터에 흐르는구동전류

가 전방장치의 시동감도(340Ω)보다 작는지 여부에 따라 결정된다. 이 와이어 송급장치의 인칭 전류가 약 4A 정도이기 때문에  $18V/4A < 340\Omega$ 이 되므로 당연히 전방장치의 주접점이 닫혀 버린다. 따라서 이 와이어 송급장치의 메이커는 이 장치를 고저

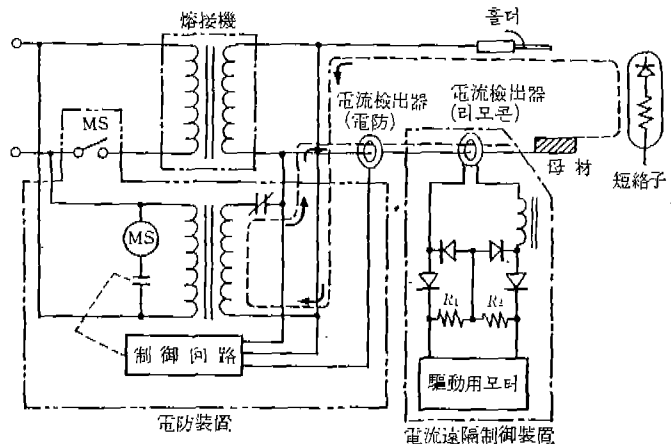
항시동형의 전방장치와 병용하지 않도록 시방서에 주의사항으로 기입하고 있다.

거기서 피재자가 무게 18kg이나 되는 와이어 송급장치를 오른손에 잡고 2E杭과 1D杭의 중간에 있는 작업상까지 이동하고 거기서 몸을 비틀듯 하는 형태로 이 장치를 신체의 왼쪽에 놓으려고 했을 때 피재자의 무릎이나 허리로 인칭버튼을 눌러 버렸다고 가정하면 이 용접기에 내장된 전방 장치가 고저항시동형이기 때문에 주접점이 닫히고 용접 와이어에는 용접봉의 무부하전압인 85V가 나타난다. 이같은 때에 와이어가 피재자의 가슴에 접촉되었기 때문에 감전사고로 이른 것으로 추리하는 케이스.

이상 사고원인으로서 3개의 케이스를 생각할 수 있는데 추리의 가정으로서 ③의 경우가 가장 무리가 없는 것 같이 생각된다.



〈그림-4〉 電防裝置 및 와이어 송급裝置併用時的 熔接回路制御



〈그림-5〉 電防裝置 및 電流遠隔裝置併用時的 熔接回路

### 3. 災害를 발생시키는 다른 原因

고저항시동형의 전방장치가 부착된 용접기에서 전방장치 자체는 정상이라도 아크 휴지시에 전방장치가 오동작하여 주접점을 닫고 용접봉 등의 용접회로에 용접기의 무부하전압이 나타나는 케이스로서는 앞에서 든 케이스 이외에 다음과 같은 경우가 있다.

① 용접용 케이블의 일부가 파손되어 있거나 또는 케이블 상호의 접속장소의 절연처리가 불충분한 경우, 또한 아크 휴지시, 용접봉을 홀더에 부착한 상태로 습윤된 상면에 놓은 경우 등 왕왕이 용접회로의 절연이 전방장치의 시동감도 이하가 되는 케이스가 많고 이같은 경우에는 아크 휴지시라고 해도 전방장치의 주접점은 차타링 현상을 나타내며 용접회로에는 용접기의 무부하전압이 나타난다.

② 용접장소는 일반적으로 용접기에서 떨어져 있는 경우가 많고 용접용 케이블이 100~150m쯤 되는 것은 흔히 있는 일이다. 따라서 용접장소에서 용접전류를 적당한 값으로 조절할 수 있는 전류원격제어장치를 갖춘 용접기가 있다. 이것은 작업장소에서 단락자라고 하는 저항체를 사용하여 용접회로에 전류를 흘려 이에 의하여 용접기의 전류조정축에 부착된 구동용 모터를 회전시켜 용접전류를 조정하는 것이다.

그러나 이 구동전류는 그림 5의 점선과 같은 회로를 형성하기 때문에 주접점을 닫기 위한 시동전류가 흐른 것과 마찬가지로, 주접점이 닫히는지 여부는 이 구동전류의 크기, 즉 단락자의 저항에 따라 결정되는데 일반적으로 단락자의 저항은 4~20Ω 정도이며 고저항 시동형의 전방장치에서는 당연히 주접점을 동작시키는 값이다.

### 4. 災害의 防止對策

고저항시동형의 전방장치를 사용할 경우에는 전방장치 자체는 정상이라도 아크 휴지시에 용접봉 등의 용접회로에 용접기의 무부하전압이 나타나 마치 용접기에 전방장치가 부착되어 있지 않는 상태가 되어 감전재해가 발생할 위험성이 있다. 거기서 이

같은 종류의 감전재해를 방지하기 위해서는 앞에서 설명한 케이스가 발생하지 않도록 주의하여 전방장치를 선정하여 부착해야 된다.

지금까지의 해설을 종합하는 의미에서 이같은 재해에 대한 방지대책을 열거하면 다음과 같다.

① 고저항시동형의 전방장치는 시동감도가 높기 때문에 용접회로의 절연저항의 저하로 전방장치가 오동작할 위험성이 있으므로 특히 용접 케이블의 절연 용접장소의 절연처리에 유의하여 항상 충분한 절연성능을 유지시킬 것.

② 아크 휴지시에는 용접봉을 부착한 상태로 홀더를 도전성이 높은 불체 위나 혹은 습윤된 상면에 놓지 않을 것.

③ 전방장치와 와이어 송급장치(용접기의 2차측을 전원으로서 사용하는 것)가 병용될 경우에는 와이어인칭시에 당해 전방장치의 주접점이 닫히지 않는 시동감도를 가진 전방장치 즉 다음식의 관계로 되어 있는 것을 선정할 것.

$$\frac{\text{전방장치의 무부하전압}}{\text{와이어송급장치내의 모터의 구동전류}} > \frac{\text{전방장치외 시동감도}}{\text{시동감도}}$$

일반적으로는 저저항시동형의 전방장치를 사용하면 안전한데 정확하게는 메이커의 시방서 등의 지시에 따라 선정한다.

④ 전방장치와 전류원격제어장치를 병용할 경우에는 시동감도가 다음의 조건이 되는 전방장치를 선정할 것.

단락자의 저항치 > 전방장치의 시동감도

일반적으로 단락자의 저항치는 4~20Ω 정도이며 저저항시동형의 전방장치(시동감도가 2Ω 미만)를 선정하면 안전하다.

⑤ 용접작업중 용접 토치나 와이어 송급장치를 가지고 이동할 때에는 이들을 용접 케이블에서 절리시킨 상태에서 시행한다.

⑥ 전방장치의 선정, 사용 및 점검에 관해서는 관계관청에서 발표된 기준이나 지침을 숙지하여 안전작업에 유의하도록 한다.

(註: 특정사항 및 수치는 일본의 경우임)

\*