

高電壓 實驗室의 安全對策

김 용 수
국립서울산업대 교수

◆ 머 리 말

일반적으로 감전사고는 전력관계에 종사하는 기술자에게 발생되고 있으며, 최근에는 대학이나 연구소에서 플라즈마, 레이저 및 입자가속기 등의 장치를 비롯하여 고전압을 취급하는 기회가 증가함에 따라 더욱 확대되고 있다.

그러나 고전압을 취급할 때 안전사고 예방규칙을 숙지하지 않은 채로 전력기기 등을 조작하는 경우가 많은데 이것이 감전사고의 원인이 되고 있다.

본고에서는 고전압기기를 취급할 때의 주의 사항과 작업중의 실험종사자의 수칙사항 및 전원파형의 相違에 의한 주의 사항 등을 기술하고자 한다.

1. 감전방지의 주의사항

1.1 고전압 실험에 필요한 최소한의 지식

(1) 먼저 고전압의 절연파괴에 대한 최소한의 지식을 갖추어야 한다. 일반적으로 平等電界下에서 공기의 파괴전압은 1cm당 대략 32kV이다.

그러나 이러한 값도 전계가 왜곡되면 급격히 저하되므로 목표치가 될 수 없다.

그런데 유전체에 背後電極이 있는 경우(同軸케이블의 端末部分 등)는 沿面플래시오버(유전체가 상쇄하는 경계면에 따라 발생하는 방전)를 일으키기 쉽고 더욱이 연면거리를 길게 하여도 연면의 절연파괴를 막을 수가 없다.

(2) 고전압이 인가되어 있는 부근에서는 표면의 미소한 누설전류에 의한 浮遊容량의 충전 때문에 전압인가시간이 길면 같은 전위의 고전압에 帶電되어 있다고 생각하여야 한다.

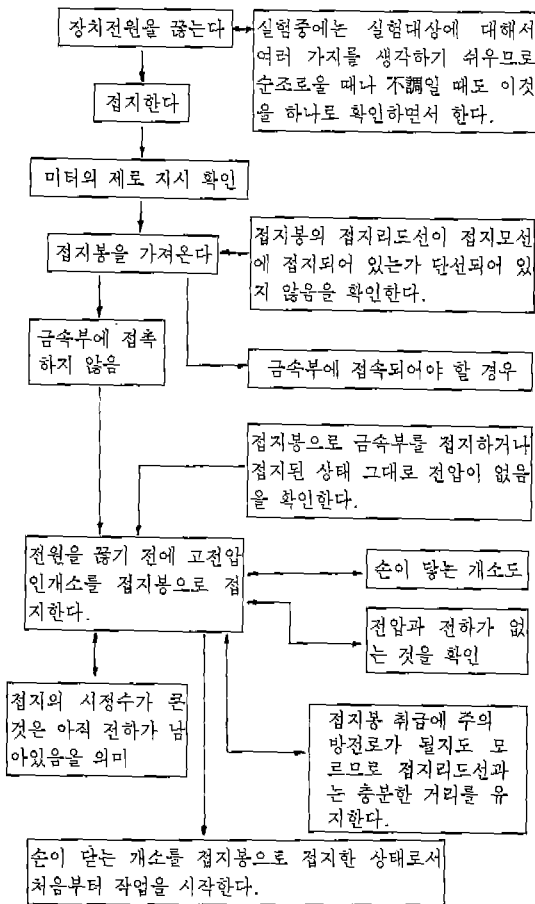
또한 고전압 회로는 저전압의 경우와 달라서 절연물의 표면누설전류가 커지고 절연된 금속부분도 등가회로적으로 고저항을 통해서 전원에 연결되어 있다고 생각해도 무방하다.

(3) 고전압에 충전되어 있는 콘덴서를 접지하여도 자유전하가 나타나므로 충분한 주의를 할 필요가 있으며 접지시 방전전류는 작은 것이 바람직하다. 한편 대용량의 뱅크와 같이 放電時定數가 10~100초가 되는 경우가 있어 장거리구간에 고전압이 유지되므로 주의하여야 한다.

1.2 고전압기기의 취급과 작업요령

(1) 전기장치의 고장이나 정지 등으로 고전압부에 접근하는 경우 그림 1과 같이 高電壓部 接近法の 흐름도에 따라서 작업을 수행한다. 즉 고장개소에의 접근은 먼저 전원의 나이프스위치나 단로기 등 전체의 스위치를 끊고 고전압부를 전부 접지한다.

다음에 전압이 제로가 되는 것을 미터로 확인하고 고장개소와 고장개소에 접근하는 통로의 고전압부를 접지봉으로 접지한다. 따라서 접지봉은 한 개가 아니고 여러 개를 준비할 필요가 있다. 이 때에 접지봉의 리드선이 떨어져 있지 않은가



<그림 1> 고전압부에 있어서 접근법의 흐름도

를 확인하고 고전압부를 접지할 때 불꽃이나 파센(Paschen)이라는 방전음이 나오는가를 조사한다.

만약 2, 3회의 접지를 반복하여도 불꽃이나 방전음이 나오는 경우 방전회로의 저항 등 단선이 생각되므로 주의해서 불꽃이나 흠이 안 나올 때까지 접지봉에 의한 접지를 반복한다. 이렇게 함으로써 고장이 예상되는 개소에 접지봉을 설치하여 조사한다.

(2) 活線과 死線의 구별을 확인하고 특히 수십 kV 이상의 고전압실험일 때 수백볼트의 中電壓 活線은 위험전압이 아니라고 방심하기 쉬우므로 주의해야 한다.

(3) 높이 1.5m 이상의 高所作業을 하는 경우 안전화, 헬멧, 안전벨트를 반드시 착용하여야 한다. 또한 실험실의 종류에 따라서 고전압용 고무장갑, 전기모자, 활선고무장화 및 絶緣架臺 등의 절연용 보호구를 준비하면 좋다.

그러나 이들의 보호구라도 高濕潤時, 雨天時 등 물에 젖은 상황에서는 기능을 거의 발휘하지 못한다는 사실을 염두에 두며 經年變化에도 주의하면서 보증기간이 지난 것은 사용하지 말아야 한다.

(4) 실험시 기기와 供試體(전압을 인가해서 실험된 물체)와의 안전거리를 충분히 이행하여야 한다. 예를 들면 최저안전거리와 회로전압의 관계는 6kV에서 15cm, 60kV에서 75cm 및 270kV에서 300cm 등의 데이터가 발표되어 있으나 이들의 값은 아직 목표값이다. 또한 개개의 장치形狀에 의한 전계의 불투명성이나 인가전압의 파형 등에 의하여 크게 다르므로 주의하여야 한다.

1.3 실험종사자의 작업중 수칙사항

(1) 실험자들의 상호연락을 완전하게 하기 위하여 고전압실험은 반드시 2명 이상이 실시한다. 그리고 실험전에는 실험순서를 충분히 숙지하고

실험이나 작업중에는 잡념을 버리고 실험에 열중하여야 한다.

(2) 작업 명령 계통을 철저히 준수하고 관리책임자나 또는 실험책임자는 전압을 印加하는 경우 전적으로 책임을 진다. 전압을 인가할 때는 點呼로서 全員の 안전을 확인하고 사전에 전원투입자를 결정한다.

(3) 실험할 때는 감시원을 배치하고 외부인의 접근이나 기기에 異狀이 발생할 경우에는 전원투입자들에게 신속히 연락하고 전원의 차단과 접지 등의 조치를 취한다. 또한 실험중에는 실험의 상황이나 주위상황 등에 신중하며 위험한 경우에는 지체없이 적절한 대책을 강구한다.

(4) 고전압이 인가되는 부분은 특히 먼지가 부착되기 쉬우므로 청소를 하는 경우 그림 1 에 따라서 무전압 상태를 확인하면서 착수하는데 이러한 체크는 어떠한 경우에도 동일하다.

(5) 실험종류후에도 다시 한번 전원의 개폐와 접지의 유무를 확인하고 실험실내의 정리정돈과 청소를 철저히 한다.

(6) 건강상태가 나쁘거나 개인적인 사정이 있을 때는 실험책임자에게 신고한다. 이 때 실험책임자는 실험자의 정신적, 육체적 피로의 유무 등에 주의하면서 실험내용과 실험자의 능력, 성격 등을 감안하여 적절한 임부분담을 정한다.

2. 전원파형의 相違에 의한 주의

2.1 교류전원인 경우

교류전압인 경우 200V 정도의 저전압이라도 전원용량이 크기 때문에 매우 위험하며 감전사고시의 인체통과 전류 정도로는 차단기가 작동하지 않는다. 따라서 감전전류의 양은 작아도 통전시간이 길기 때문에 결정적인 위험이 따르게 된다.

그러므로 100V는 물론이고 200V 이상의 선로에 접촉해서는 안되며 만일에 피부에 상처가 있

을 경우 신체로부터 염분액이 흘러나와서 접촉저항을 감소시키는데 이것이 대전류 통과와 受口가 된다. 한편 高電壓部의 접지에도 이상과 같은 주의사항을 염두에 두고 방호용 장갑 등을 착용하여야 한다.

2.2 직류전원인 경우

(1) 직류고전압이 인가되어 있는 물체의 주변의 정전유도를 방지하는 데는 차폐선과 차폐벽이 유효하나 사정으로 인하여 차폐체를 설치할 수 없을 때가 있다.

이와 같은 장소에서는 인체에 따라서 축적전하가 다르기 때문에 사람 대 사람, 사람 대 물건, 사람 대 접지 등 접촉시 전하의 평형 전류에 의하여 감전된다.

(2) 직류전압의 不整放電은 교류전압의 부정방전보다도 매우 크다. 특히 전극 치수가 큰 경우 현저하며 평등전계쪽이 불평등 전계일 때보다도 크다. 이것은 전극간의 浮遊먼지 등에 의한 것으로서 不整放電電壓의 저하율은 60~70%에 달한다고 생각된다.

2.3 임펄스 전압원인 경우

임펄스 고전압 실험시 주의사항은 감전방지에 관한 주의사항과 거의 동일하다. 그러나 임펄스 고전압 특유의 주의사항을 열거하면 다음과 같다.

(1) 임펄스 고전압실험에 있어서 供試體의 교환, 고정 및 장치의 회로정수 변경 또는 장치의 고장 등으로 장치 또는 공시체에 직접 접촉되는 경우에는 전체의 전원을 차단한다.

다음에 임펄스 전압발생장치의 최하단 커패시터의 고전압부를 접지하는데 이 때 충전저항에 주의하고 불꽃이 발생되는지를 감시한다.

한편 최하단의 커패시터에 부착된 충전전압감

사용 미터의 제로지시를 확인하고 손으로 접촉할 개소(공시체, 장치의 소자, 절연가대, 접속선 및 주위물체 등)를 접지한 상태에서 작업을 실시한다.

(2) 임펄스 발생장치의 어느 段에서 충전저항이 단선될 경우 예를 들면 최하단의 커패시터를 접지해도 저항단선개소로부터 상단의 커패시터는 충전된 그대로의 상태로 남아 있게 된다.

따라서 斷線을 신속히 발견하는 기술이 중요하며 아울러 고장을 예측함으로써 접지작업의 계획을 세워야 한다.

고장에 대처하기 위해서는 커패시터와 회로소자의 접지는 作業點보다 충분한 안전거리를 두고 전체를 접지한다.

그리고 상단 커패시터를 접지할 때는 긴 접지봉을 사용하고 접지봉이 위로 나오지 않도록 세심한 주의를 한다. 이때 접지는 수동이 아닌 공기 또는 유압에 의한 자동접지장치를 설치하는 것도 한가지 방법이다.

더욱이 충전저항의 단선개소 발견시에는 충전저항(방전저항을 겸한 경우도 있음)을 관찰할 필요가 있다. 접지시에는 斷線部에 전압이 발생하며 불꽃이 따르고 단선부의 耐電壓과 같은 전압까지 전류가 흐르게 된다.

또한 충전시 비연속적인 불꽃에 따라서 충전전류가 단선부에 흐르는데 이 경우에도 고전압인 경우 단선부에 불꽃이 튀게 되므로 주의깊게 단선저항을 발견하여야 한다. 그러나 방전음은 매우 적어 일반적으로 잘 들리지 않는 경우가 많다.

(3) 접지선은 굵고 적당한 길이를 갖는 編組線을 사용하고 접지시에는 접지에 손을 대서는 안된다. 임펄스 발생장치는 回路定數의 관계로 인하여 급격한 방전전류가 흐르게 된다.

접지선이 가늘고 긴 경우에는 인덕턴스의 강하로 인하여 매우 높은 접지전위가 浮遊하게 되며 만일에 실험실의 접지저항이 높아지면 접지저항

에 의한 전압강하가 더해져 접지리드선에 의한 감전에 주의하여야 한다.

(4) 실험시 임펄스 방전현상에 대하여 숙지하지 않으면 안된다. 예를 들면 개폐 임펄스 전압을 사용하는 경우 불평등 전계 갭의 갭 방전(일반적으로 수m급의 기중 갭 방전)은 임펄스전압의 立上時間인 50~200 μ s 영역에서는 플래시오버전압(氣中 갭 방전전압)이 교류에 의해서 플래시오버전압보다도 낮아지는 특이한 현상이 나타난다고 한다.

따라서 갭 길이가 증가해도 플래시오버전압은 높아지지 않는 포화특성을 갖는다.

또한 플래시오버는 전혀 예상할 수 없는 통로가 되며 전압파형, 극성, 갭 구조, 절연물의 표면상태, 기온, 기압, 습도 등의 대기조건, 먼지 및 근접물체 등에 따라서 방전현상은 현저한 영향을 받는다는 것을 고려하여야 한다.

(5) 분압기 저항(특히 저압부)의 단선에 주의하여야 한다. 일반적으로 임펄스전압의 측정에는 오실로 스코프와 분압기가 사용되며 저항분압기를 사용하는 경우 저압부의 저항이 단선되어도 오실로 그래프의 파손과 함께 측정자가 감전하는 경우가 발생하게 된다. 이를 위하여 안전대책상 오실로 그래프측에 보호 갭 또는 피뢰기를 설치하는 것이 바람직하다.

(6) 기기와 공시체의 배치 및 배선은 각자의 특성, 이격거리에 따라서 整然하게 행한다. 기기의 배치가 부적합하거나 배선단말에 늘어진 상태 또는 突起와 같은 개소가 있게 되면 이들 부분에 예상 이외로 플래시오버가 발생하게 되어 위험하게 된다.

(7) 절연체에 대하여 浴面 플래시오버시험이나 관통파괴시험을 하는 경우 절연체의 종류에 따라서 열적으로 파괴되어 飛散하게 되므로 이것이 감전사고의 원인이 된다.

(8) 고전압실험에 있어서 눈대중에 의한 판측이 많이 있으므로 책임자의 지도에 따라서 충분

한 거리를 두고 금속 등에 접촉하지 않도록 주의하면서 관측한다.

(9) 임펄스고전압실험을 하는 경우 반드시 숙련된 감시자를 두고 기기의 이상을 발견하였을 때는 신속히 전원투입자에게 연락하여 전원을 차단하고 장치를 접지한다.

오히려 임펄스 고전압 발생장치의 전원부는 고전압 변압기와 정류장치로 되어 있으므로 이들의 전원부에 대해서도 주의하여야 한다.

3. 실험기기의 이상상황 감지

(1) 갭스위치 음, 로터리펄프의 음 및 컴프레서 음 등은 단독음인 경우와 혼합인 경우를 구별해야 한다. 그리고 대형장치에서는 여러 개소로부터 코로나 방전이 발생하는 경우 '시이'하는 연속음이 발생하므로 신속히 감지하여야 한다.

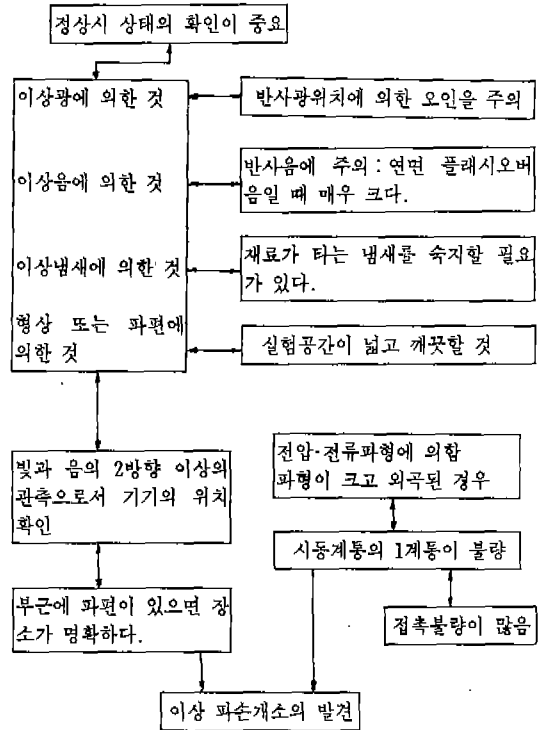
(2) 광에 의한 이상상태의 감지는 대부분의 경우 발광을 수반하여 발광개소의 절연파괴에 주의하여야 한다. 또한 정상운전시 방전갭의 광, 발광의 개소, 광의 질 및 크기를 異常光과 구별해야 하며 카메라로 발광개소를 확인할 필요가 있다.

(3) 냄새에 의한 이상상태의 감지로서는 베클라이트, 폴리에틸렌, 에폭시 등의 대표적인 절연재료가 소손될 경우의 냄새를 알아둘 필요가 있다.

(4) 실험실의 바닥은 청결을 유지하고 절연파괴에 의한 파손, 파편인가를 확인하여야 한다. 이로부터 파손개소와 실험장소를 예측할 수 있다. 지금까지 설명한 것을 종합하면 異常音, 異常光, 異常냄새, 연기 및 파편을 감지하면서 파손개소를 발견할 수 있다.

한편 異常場所의 발견법에 의한 흐름도를 작성하면 그림 2와 같으며 안전에 관한 주의 사항을 요약하면 표 1과 같다.

끝으로 본고에서는 오랜 실험현장의 체험과 감



<그림 2> 이상장소의 발견법에 대한 흐름도

<표 1> 안전과 위험에 관한 주의사항

구분	사항	안전	위험
실험자	생각, 행동	규제	방임
	실험	이해	불확
	상호	신뢰와 화합	불화
	연락	충분	불충분
실험용 기자재	전원개폐장치	개	폐
	접지	유	무
기자재	보호구, 방호구	완전장비	불안전, 무장비
	기자재의 본질	확인	불확인

전방지에 대한 기본사항을 취급하였으나 실험현장이 변하면 고전압 기기의 종류, 형상, 배치 등이 다르므로 보편적인 안전지침을 정할 수 없을 것이다. 그러나 각 실험현장에서 체험한 귀중한 자료를 입수하여 활용하면 도움이 될 것으로 본다.