

위험장소에서 인체감전보호용 누전차단기 설치개선에 관한 연구

신대성 · 이문형 · 구윤모 · 정재희 · 김광덕* · 이주철* · 김한수*

서울산업대학교 안전공학과 · * (사)대한전기협회

1. 서 론

전기재해 중 감전사고는 누전차단기에 의해 예방될 수 있으며 그 취급 및 설치가 간편하여 국내외 각국은 누전차단기에 의한 안전대책확보와 관련, 제품의 성능 및 설치방법 개선 등에 많은 노력을 기울이고 있다. 하지만 2000년도 국내 감전사고는 사망 107명을 포함하여 821명의 사상자가 발생하여 전기안전의 생활화가 절실히 요구되는 실정이다. ¹⁾

또한 현행 전기설비 기술기준상 누전차단기 설치기준에 대한 재검토 필요성이 대두되고 있으며, 특히 위험장소에서의 인체감전보호를 위한 개선이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 인체의 감전특성, 장소별 감전사고실태를 분석하여 문제점 및 개선방향을 제시한다.

2. 인체감전특성과 위험장소 분류

2.1 인체감전전류와 통전시간에 따른 해석^{2),3)}

국제전기기술위원회(IEC)에서 전기설비사용에 따른 감전전류가 인체에 미치는 영향에 대해 다음과 같이 발표하였다.

인체에 미치는 전류의 영향은 두 가지 인자로 정의되는바 아래의 2가지 인자는 인체에 접촉전압이 인가된 경우 유해한 생리적 영향을 미치지 않는 추정접촉전압과 그 지속시간을 확립하는 기초가 된다.

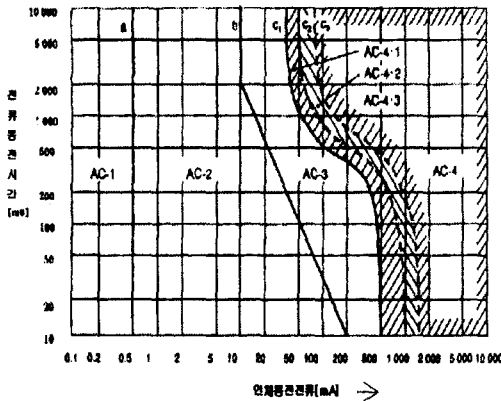
① 인체를 통과하는 전류의 크기와 시간이 인체에 미치는 영향

② 접촉전압 크기에 따른 인체의 전기 임피던스 변화

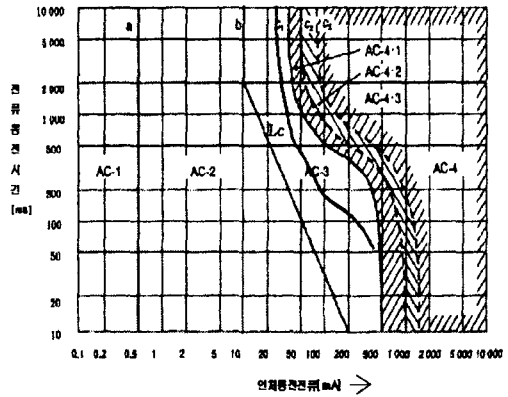
1) 전류크기와 시간

인체에 미치는 교류전류의 영향과 시간의 관계는 [그림 2]처럼 나타낸다.

[그림 2]의 (a)곡선은 1996년 이전, 1996년에 새롭게 제정된 그림 (b)에 추가된 곡선 Lc(차단시간과 전류의 함수)는 영역 AC-4경계 이하로 일정한 안전상의 여유를 갖고 설정한 것으로 전원자동차단에 의한 보호수단으로 이용해야 할 추정 접촉전압과 차단시간의 관계를 규정하기 위한 기초가 된다.



(a) 1996년 이전



(b) 1996년 이후

[그림 2] 인체에 미치는 교류전류(15Hz~100Hz)영향에 관한 시간/전류구역

2.2. 접촉전압에 의한 해석

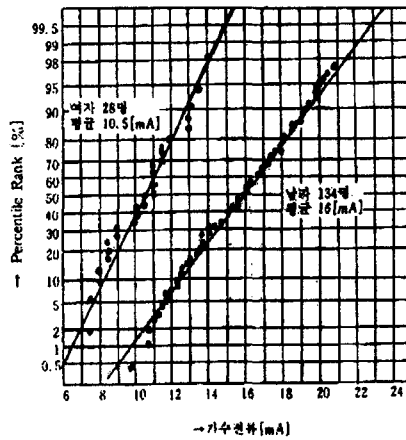
접촉전압을 결정하기 위한 인체의 전기 임피던스는 일반상태(물에 젖은 장소가 아닌 건조한 지점)에서 1,750Ω 정도이고, 물에 젖은 장소에서는 인체내부조직의 전기저항인 500Ω 정도가 되는 것으로 나타났다. 일반 상태에서는 감전시간이 무한대로 지속되어도 감전전류가 29mA의 경우에는 심실세동이 일어나지 않으므로 누전차단기의 정격감도전류의 30mA이하에 대한 타당성을 보여주고 있다.

그러나 인체가 물에 젖어 있는 경우는 인체저항이 500Ω으로 이 경우에는 접촉전압이 25V만 되어도 인체통과전류는 50mA로 보고된 바 있어, 감전시 심실세동을 일으킬 수 있는 위험이 있으므로 이러한 위험장소에서는 정격감도전류가 30mA보다 낮은 전류값이 필요한 것으로 나타났다.

2.3 이탈(離脫)한계전류(Let-go-Currents)⁴⁾

가수(可隨)전류 라고도 불려지며, 비록 불쾌함이 지속되더라도 일반적으로 전류가 흐르는 물체를 쥐고 있는 사람의 근육 제어 능력 및 그 물체를 다시 놓을 수 있는 능력을 손상시키지는 않는 전류이다.

Dalziel이 실시한 여성 28명과 남성 134명에 대한 고전적인 이탈한계전류의 시험 결과 여성의 평균치는 10.5 mA, 남성의 평균치는 16 mA이며, 최저의 이탈한계전류(최저가수전류)는 여자 6 mA, 남자 9 mA이다.



[그림 3] 60Hz 정현파교류에 의한 이탈한계전류(가수전류)

2.4 위험장소 분류

현행 전기설비기술기준에서는 위험장소를 구분하여 누전차단기의 정격감도전류를 정하지 않고 있다. [표 1]은 일본에서 감전위험도에 따라서 장소를 구분한 것이다.⁵⁾

[표 1] 일본의 위험장소 분류 및 정격감도전류 선정

항목	접촉상태			
	제 1종	제2종	제3종	제4종
위험도	매우 높다	상당히 높다	높다	낮다
접촉상태	· 인체의 대부분이 수중에 있는 상태	· 인체가 젖은 상태 · 금속체의 전기 기계기에 인체의 일부가 상시 접촉하고 있는 상태	· 제1종 및 2종 이외 장소에서 항상 인체상태에 접촉전압이 가해지며 위험성이 높은 경우	· 제1종 및 제2종 이외 상태에서 접촉전압이 가해지고 있지만 위험성이 낮은 경우 · 접촉전압이 가해질 위험이 없는 경우
정격 감도전류	5mA 이하	15mA 또는 30mA	30, 100mA : 부하에 가까운 장소 200, 500mA : 전선로공장의 긴장소	200, 500mA

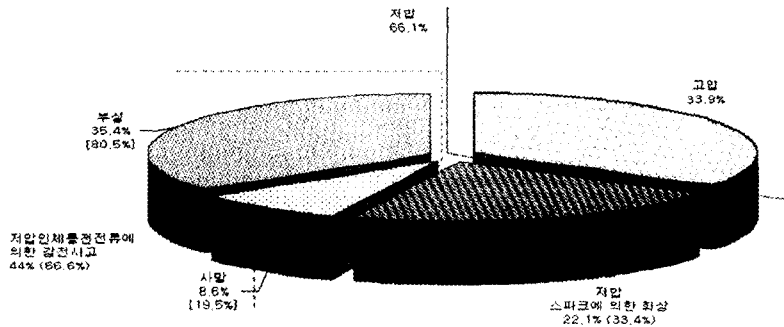
미국의 경우 National Electrical Code(NEC)에서 주거공간 및 옥외공간에서 물기가 있는 장소 및 위험도에 따라서 6mA의 정격감도전류를 갖는 GFCI(Ground fault circuit interrupter)의 설치를 의무화하고 있다.⁷⁾

유럽 누전차단기(IEC)의 30mA 차단 레벨은 인구의 약 90%정도의 보호를 목적으로 하고 있지만, 미국(NEC) GFCI의 6mA 차단 레벨은 남녀 및 어린이등 인구의 약 99.5%의 보호를 목적으로 하고 있다.⁶⁾

2.5 FAIL SAFE기능 누전차단기^{2), 6)}

누전차단기의 오동작 및 부동작은 감전사고로부터 안전을 확보하는데 있어서 매우 중요한 문제점이다. 이에 따라서 유럽의 일부 꽃음식 RCD에서 내부회로에 결함이 생길 경우 자동으로 전원을 끊어 안전하게 해주는 FAIL SAFE기능을 확보하고 있다. NEC도 GFCI의 제품불량으로 인한 감전사고가 문제점으로 대두되고 GFCI 내부의 결함으로 인하여 기능을 상실하였을 경우에는 전원을 차단시키는 기능을 강제적으로 내장하려고 하고 있다.

3. 감전사고분석



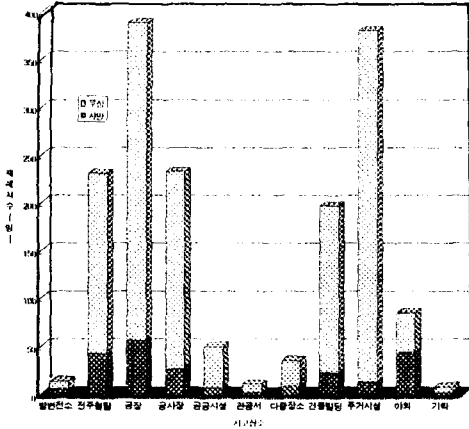
※ () : 저압에 의한 감전 재해자수 기준

[] : 저압 인체통전전류에 의한 감전 재해자수 기준

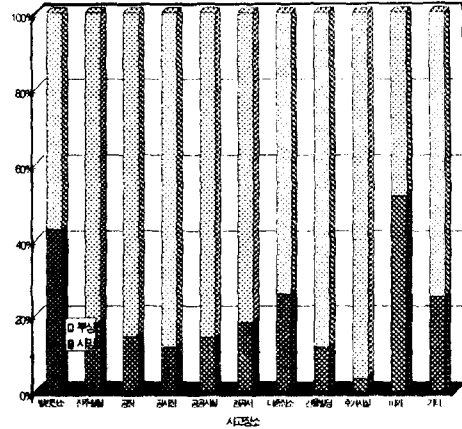
[그림 4] 국내감전사고 분포현황

1999~2000년 사이의 2년간 한국전기안전공사의 감전사고 통계자료(Low Data)를 재 분석한 결과 [그림 4]과 같이 나타났으며, 전압에 따른 감전재해사고의 분포는 고압이 33.9%, 저압이 66.1%이며, 저압에 의한 감전재해중에서는 스파크에 의한 화상이 33.4%이고, 인체통전전류에 의한 감전사고가 약 66.6%이다. 또한 저압 인체통전전류에 의한 감전사고로 인하여 사망한 재해자는 19.5%이며, 부상한 재해자는 80.5%이다.

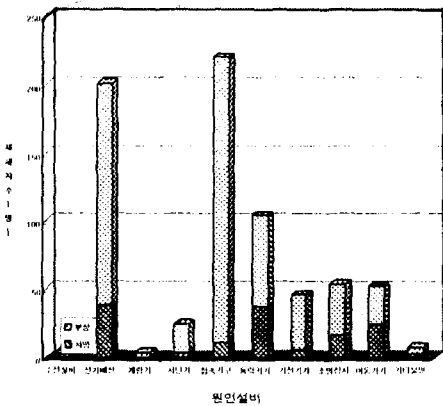
3.1 사고장소별 감전재해자 분포



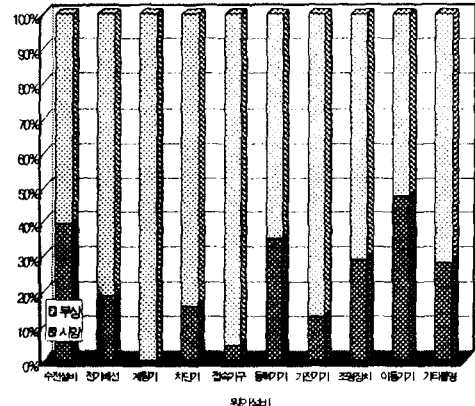
[그림 5] 사고장소별 감전재해자수



[그림 6] 사고장소별 사상자 비율



[그림 7] 원인설비별 인체통전전류에 의한 감전재해자수



[그림 8] 원인설비별 인체통전전류에 의한 사상자 비율

이동기기, 야외에서의 사망율이 다른 항목에 비하여 월등히 높음을 알 수 있다. 저압 인체통전전류에 의한 감전사고만을 장소별, 원인설비 및 행위별로 세부적으로 분석해 보면 다음과 같다.

가. 공장의 원인설비 및 당시행위

공장에서의 감전재해사고의 주원인은 동력기기 및 전기배선의 활선 상태에서의 설치 및 보수 행위에서 발생하며, 그 외로는 이동식전기기기의 절연열화에 따른 간접접촉에 의한 감전 재해가 대부분이다. 특히 공장의 전기설비의 경우 대부분 누전차단기의 오동

작에 의한 설비의 가동정지를 방지하기 위하여 누전차단기를 사용하지 않고 MCCB를 주로 사용함에 따라 인체감전보호의 어려움이 따르고 있다.

나. 공사장의 원인설비 및 당시행위

공사장에서의 감전사고의 특성은 주로 이동용 전기기기의 절연손상으로 인한 감전사고가 많이 발생하며, 대부분의 전기배선이 가공으로 되어있지 않고 바닥에 널려있고 바닥이 젖기 쉬워 전기배선에 의한 감전사고가 주로 일어났다. 또한 콤프레서, 전기용접기 등과 같은 전기기기의 외함 접지를 제대로 하지 않고 사용하는 경우가 많으며, 열악한 주변여건에 따른 오동작으로 인하여 누전차단기 사용을 기피하기 때문에 전기기기의 절연 손상으로 인한 인체 감전사고에 대한 보호가 어렵다.

다. 야외의 원인설비 및 당시행위

야외에서의 감전 사고는 주로 양수기 등의 농업용 전기설비 및 이를 위한 전기배선의 절연파괴로 인한 감전재해가 대부분이며, 그 이외에 이동식 전기기기의 절연파괴에 의한 감전 재해가 주류이다. 이는 전기배선의 경로가 가공이나 배관공사와 같이 정식적인 절차를 거치지 않고 빗물 등에 의하여 젖기 쉬운 옥외의 바닥 위에 깔려있는 불량한 전기배선에 의하거나 전기기기의 열화에 의한 누전상태에서도 누전차단기가 아닌 일반 MCCB나 CKS 등을 주차단기로 사용하여 전원을 지속적으로 공급함으로써 간접 접촉에 의한 감전재해를 일으키기 때문이다. 특히 야외에서의 감전시 약 54%의 재해자가 현장에서 즉사한 것으로 나타나 특별한 조치가 필요한 상황이다.

농사용분전반의 경우 절연성 방수형 외함에 계량기, 누전차단기 및 접지콘센트로 구성되어 보급되어 있으나, 접지콘센트의 접지극이 대부분 접지되어있지 않은 상태이며 농사용으로 사용되는 대부분의 양수기 등의 전기기기도 비방수형기기이고 외함접지를 고려하지 않아 누전차단기가 동작불량일 경우 감전위험에 무방비 상태로 노출되어 매우 위험하다.

라. 주거의 원인설비 및 당시행위

일반 주택을 포함한 주거시설의 감전재해의 큰 특징은 주로 어린이들이 피해의 주 대상이며, 어린이들이 콘센트에 젓가락이나 못 등의 금속물을 접촉하거나 전기배선을 물어뜯어 발생하는 사고가 대부분이다. 그 외로는 가전기기의 조작시 전기배선이나 접속기구의 이상으로 인한 감전재해가 주된 요인이다.

가정의 콘센트는 현재 구조적으로 많이 개선된 상태이나 어린이들이 젓가락이나 못 등의 금속물로 충전부에 쉽게 접속되지 않도록 품질 향상 및 보호장치의 개선이 필요하다.

이상과 같이 저압 인체통전전류에 의한 감전사고의 대부분이 전기배선, 접속기구, 동력기기 및 이동식전기기기 등에서 이뤄지고 있으며, 이는 인체통전전류를 감지하여 빠

른 시간내에 전원을 끊어줄 경우 사망 또는 중상해로 이어지는 것을 막을 수 있으므로 누전차단기의 사용이 절실히 필요한 영역이다.

또한, 이동용전기기의 감전위험성은 최근 3년간 (96~98년) 이동용 전기기에서 발생된 감전사고를 기기별로 구분하였을 때 총 147건 중 44%인 65건이 용접기에서 발생하였고, 그 외 전기드릴 37건(25%), 그라인더 31건(21%), 기타 14건(10%)순으로 나타났으며, 원인별 분석으로는 기기누전으로 인한 감전사고가 60%로 가장 높게 나타났다.

특히, 전기드릴 및 그라인더에 의한 감전사고의 약 80%가 누전에 의한 사고로 나타나고 있어 이에 대한 예방대책이 필요하다.⁸⁾

4. 결 론

누전차단기 설치에 관한 기준 중에서 일반적인 상태(바닥이 건조하고, 인체가 젖을 우려가 없는 경우)에서의 현행의 30mA의 정격감도전류와 0.03S의 동작시간을 갖는 누전차단기의 적용은 심실세동 등의 인체에 치명적인 피해를 유발하지 않는다.

그러나 아래와 같은 장소에서는 인체감전보호용 누전차단기의 정격감도전류가 개선되어야 한다.

- 1) 수영장의 풀 또는 이와 유사한 장소와 같이 전기기계기구의 이상으로 인하여 인체에 전기적 충격이 가해졌을 경우 근육마비로 인하여 자력으로 이탈하지 못하고 주변의 물에 빠져 익사할 우려가 있는 곳에서 사람이 쉽게 접촉할 우려가 있는 전기기계기구
- 2) 화장실, 싱크대, 세탁기 설치 주변 및 옥외의 공사장이나 농업지역과 같이 바닥이 상시 젖고, 인체의 일부가 젖어서 인체저항이 현저히 낮아질 우려가 있는 곳에서 사람이 쉽게 접촉할 우려가 있는 전기기계기구
- 3) 내부회로에 결함 등이 생길 경우 자동으로 전원을 끊어 안전하게 해주는 FAIL SAFE기능을 확보

참고문헌

1. 한국전기안전공사 전기재해통계 1999, 2000.
2. IEC 61200-413, 1996.
3. IEC 60479-1, 1994.
4. 정재희 외 5인 “전기안전공학” 동화기술, 1996.
5. JEM-TR142, 2001.
6. Earl W.Roberts “Overcurrents and Undercurrents-All about GFCIs and ADCIs” 2000.
7. NEC CODE, 2002.
8. 한국전기안전공사 “이동용전기기의 감전위험성 연구”, 2000.