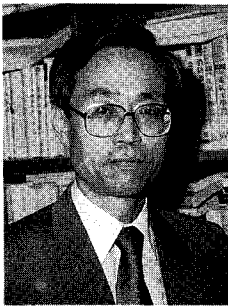


교류전자계가 인체에 단기간 미치는 영향은 무엇인가?



박 상 회 교수
연세대학교전기공학과

현 대인의 일상생활은 어느 정도 전자계에 노출되어 있다고 볼 수 있다. 그 중에서도 우리가 사용하는 거의 모든 전기용품에서 발생하는 전자계는 우리의 생활과 관계를 가지고 있기 때문에 인체의 영향 유무에 관해서 일반 국민 및 관련 종사자들의 관심과 논란의 대상이 되고 있다.

따라서 교류 전자계가 인체에 단기간 미치는 영향을 다른 문헌을 통하여 나타난 결과를 간단히 소개하여 보기로 한다.

전기적 자극의 종류

전력선의 전기적 영향을 다루기 위하여 자극의 종류를 다음과 같이 구분한다.

① **직접 접촉전류에 의한 영향**: 인체가 전계에 놓여 있는 도체를 직접 접촉함으로써 접촉전류가 흐른다.

② **불꽃 방전에 의한 영향**: 전계에 놓여 있는 도체의 표면 전계가 상승하여 공기의 전기적 절연강도를 넘어섰을 때, 용량성 불꽃 방전이 발생하여 인체에 과도전류가

흐른다

③ **전계의 직접 영향**: 인체 표면의 전계가 머리카락에 기계적 힘을 가하거나 전류를 유도한다.

④ **자계의 직접 영향**: 자계가 인체내부를 유도한다.

이러한 자극은 어느 한가지에 의한 단순 자극과 두가지 이상이 동시에 자극을 주는 복합 자극이 있다. 전기적 자극에 따른 인체의 반응 정도를 평가하는데 있어서 중요한 몇가지 정의를 정리한 것이 <표 1>이다.

직접 접촉에 의하여 생기는 전류에 대한 반응

인가된 전압에 대해서 인체에 흐르는 전류의 양은 피부의 상태에 따라서 상당히 변한다. 예를 들면 건조하고 상처를 입지 않은 피부 조건하에서 손과 손이나 손과 발을 통한 저항은 100(K Ω)을 넘는다. 그러나 땀에 젖어 있는 피부는 절연성이 약해져서 전기 저항값이 1(K Ω) 정도로 떨어진다. 상처를 입을 경우 전기저항 500(Ω) 정도로 되기

(표 1) 전기적 자극에 따른 인체의 반응에 대한 정의

인지 (Perception)	정해진 인지 확률로 사람이 의식적으로 자극을 인지할 수 있을 뿐이다.
성가심 (Amenyance)	만약 감각이 반복적으로 일어나면 사람은 그 감각을 가벼운 자극이라 생각한다.
놀라움 (Startle)	예기치 않은 자극이 일어나면 그것은 무의식적인 근육의 반사 작용을 일으키고 어떤 상황에서는 위협하다.
싫어함 (Aversion)	사람이 이와같은 상황을 경험하면 다시는 그런 상황에 직면하려고 하지 않는다.
도체를 잡았다 놓을 수 없음 (Let go)	이 자극을 받으면 제어할 수 없는 근육 수축으로 인하여 자극이 지속되는 한 잡았던 도체를 놓을 수 없다.
호흡기 경련 (Respiratory-Tetanus)	이 자극이 있으며 호흡기 근육의 수축때문에 자극이 지속되는 한 호흡을 할 수 없다.
심근세동 (Fibrillation)	심장의 비동기적 수축 작용으로 인하여 펌프작용이 일어나지 않는다.

* 범주는 무의식 중의 반응

때 피부는 물집이나 화상으로 급격히 손상을 입기 때문에 500(Ω)의 저항값은 최악의 경우를 나타내는 안전 해석값으로 쓰인다. 직접 접촉에 대한 반응을 정의하는데 중요한 변수는 신체내의 전류밀도이다. 이것은 전류가 유도되는 신체부분의 전류크기 및 접촉면적 그리고 접촉면의 기하학적 모양과 관계가 있다.

(표 2)는 접촉 전류의 크기에 대한 사람의 반응에 관련된 경험적 수치를 정리한 것이다.

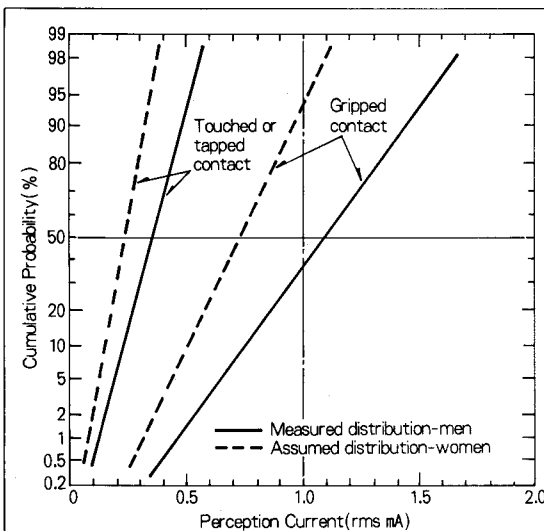
(1) 인지(Perception)

전류를 감지하는 것은 그 전류가 유입되는 신체의 부분 및 그 부분의 표면적의 크기와 관계가 있다. 보통 0.24(mA)을 인가하였을 때 여

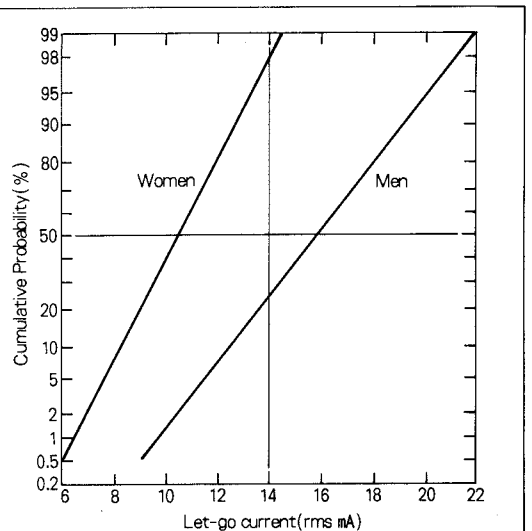
성의 경우 50%가 인지할 수 있지만 인가하는 체표면을 부드러운 표면으로 문질렀을 경우는 0.01(mA)의 전류를 인가하였을 경우도 인지할 수 있다. 상처가 난 피부나 혀를 통하여 전류가 유입되면 인간이 감지할 수 있는 전류의 크기는 현저히 줄어든다. (그림 1)은 손에 인가된 인지전류의 문턱값의 분포를 보여준 것이다. 실험을 통하여 여자의 평균 인지 문턱값은 남자의 평균 인지 문턱값의 0.67배가 됨을 알았다. 따라서 그림에서 여자에 대한 분포 곡선은 남자의 값에 0.67이라는 계수를 곱하여 얻은 것이다.

(2) 도체를 놓을 수 없음(let-go)

전류를 아주 높은 수준으로 점차 증가시키면 무의식 중에 근육이 수축하여 움켜진 도체를 놓을 수 없게 된다. 이 수준이 잡았던 도체를 놓을 수 없는 전류의 문턱값이다.



(그림 1) 60Hz 전류를 손에 인가하였을 때의 전류



(그림 2) 성인에 대한 let-go전류의 문턱값

이 전류가 반드시 직접적인 위험이 되는 것은 아니다. 건강한 남성의 경우 일시적인 근육 자극 이외의 다른 나쁜 영향이 없이 이 전류까지 반복해서 흐르게 할 수 있다.

그러나 이 수치보다 높은 전류가 가슴을 통해서 오랫동안 흐르게 되면 호흡이 곤란해지고 결과적으로 탈진하여 호흡곤란으로 생명이

위험이 초래된다. 따라서 이 전류는 오래 흘러게 되면 잠재적으로 위험하게 된다. C.F. Dalziel이 한 실험을 토대로 도체를 놓을 수 없음 (let-go)에 대한 전류의 분포를 (그림 2)에 나타내고 있다.

이 자료에 의하면 남자들에게 이 전류값은 9.0(mA)이고, 여자들에게는 6.0(mA)이다.

피부에 분포되는 전류 밀도 때문이다. 직접 접촉에 의한 전류는 불꽃 방전때 보다 피부에 분산되나 불꽃 방전일 때는 적은 면적을 통해서 유도된다. 똑 같은 강도의 불꽃 방전을 손가락을 통해서 느낄 때보다 금속체를 잡고 느낄때가 더 경미하다. 두 경우에서 전체 전하량은 동일하나 전류 밀도가 다르기 때문이다. 교류 불꽃 방전에 대한 사람의 반응은 전하를 축적하고 있는 물체의 대지 정전용량과 개방회로 전압에 영향을 받는다. (그림 3)은 세가지 다른 기상조건에서 손가락이나 엄지 손가락의 불꽃 방전에 대한 평균 인지 전압을 보여준 것이다.

이 실험의 목적은 전계안에 있는 크기가 다른 자동차에 대한 시뮬레이션을 하기 위해서이다. 점 D는 자동차 손잡이에 연결된 전선망에 접촉된 경우이다. 점 F는 집지봉을 손가락으로 접촉하였을 경우를 나타낸 것으로 사람은 전하를 띤 물체와 같은 역할을 한다. 점 U는 절연대 위에서 절연된 플라스틱 우산 손잡이를 잡고서 엄지 손가락으로 금속대를 접촉하였을 때의 인지값을 나타내는 것이다.

전계의 직접 인지

전계내의 도체 표면에는 전하가 유도된다. 특히 전계가 변화할 때 이 전하가 커져서 피부 아래로 통과할 수도 있다. 전계의 직접적인 영향 때문에 생긴 자극은 피부의 표면에 있는 전하로부터 발생한다. 이 전하는 머리카락에 힘을 가해서 사람이 인지할 수 있는 기계적 진동을 유발하며 몸과 옷사이에서 따끔함을 느낄 수도 있다. 자극의 정도가 낮은 경우인 8(kV/m)이하

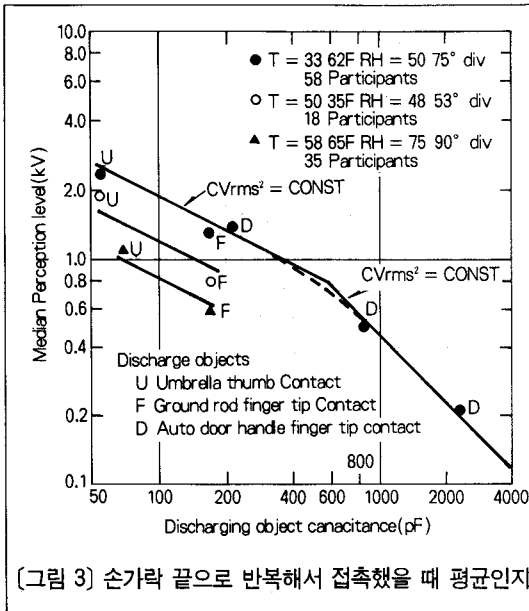
(표 2) 60Hz접촉 전류에 대한 반응 문턱값

접촉전류실효치(mA)	반응 / 감각의 정도
0.09	○ 인지(Perception) 1%의 여자에 대해 접촉 인지
0.13	1%의 남자에 대해 접촉 인지
0.24	50%의 여자에 대해 접촉 인지
0.33	1%의 여자에 대해 잡음(Grip)의 인지
0.36	50%의 남자에 대해 접촉 인지
0.49	1%의 남자에 대해 잡음의 인지
0.73	50%의 여자에 대한 잡음의 인지
1.10	50%의 남자에 대한 잡음의 인지
2.20	○ 놀라움(Startle) (2차적인 위험이 따를 수 있는 반응)
3.2	50%의 여자에 대해 나타남(팔의 접촉시) 50%의 여자에 대해 나타남(잡았을 때)
4.5	○ 도체를 잡았다가 놓을 수 없음(Let-go) 0.5%의 어린이들에게 대해 나타남
6.0	0.5%의 여자들에 대해 나타남
9.0	0.5%의 남자들에 대해 나타남
10.5	50%의 여자들에 대해 나타남
16.0	50%의 남자들에 대해 나타남
15	○ 호흡기 경련(Respiratory Tetanus) 50%의 여자들에게 호흡 곤란
23	50%의 남자들에게 호흡 곤란
35	○ 심근 세동(Fibrillation) 20kg의 아이들중 0.5%에 대해 약 3초 동안의 세동 전류가 예정됨
100	70kg의 어른들중 0.5%에 대해 약 3초 동안의 세동 전류가 예상됨

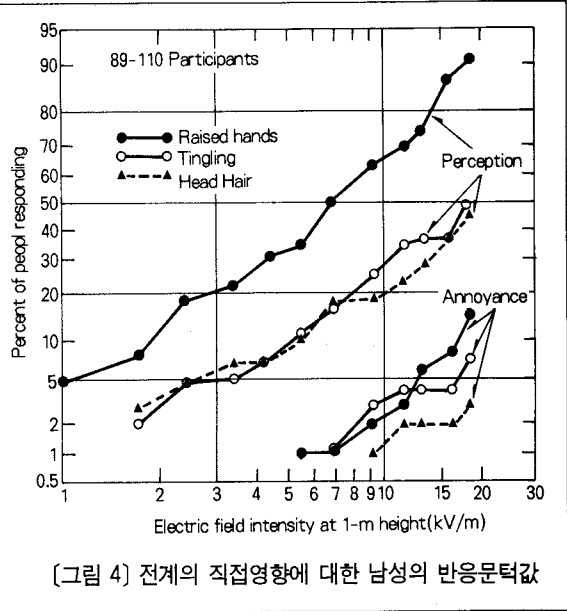
불꽃 방전에 의한 영향

사람이 송전선로 밑에 있거나 근접해 있는 경우 용량성 불꽃 방전이 사람과 도체사이에 일어날 수 있다. 이 경우 사람과 도체는 송전선에 의해서 만들어지는 전계 작용에 의해 전하가 있는 축전기와 같이 작용한다. 사람과 도체가 근접해 있을 경우 공기 절연내력이 파괴되어 불꽃 방전이 발생하면서 인

체에 전류가 흐르게 된다. 이 방전은 건조한 날 털옷을 입거나 벗을 때 일어나는 정전 방전과 비슷하다. 의복의 방전은 단일 과도현상인 반면 송전선하에서의 방전은 적은 공극을 유지하는 한 불꽃방전이 계속된다. 동일한 전류 자극에서 불꽃 방전때 느끼는 감각의 크기는 도체에 직접 접촉하였을 때 느끼는 감각보다 더 크다. 그 차이는 주로



[그림 3] 손가락 끝으로 반복해서 접촉했을 때 평균인지값



[그림 4] 전기의 직접영향에 대한 남성의 반응문턱값

일때 대부분의 사람들은 부드러운 미풍처럼 느낀다고 한다. 자극의 정도가 높아지면 사람들은 따끔거리거나 오싹하다고 한다. [그림 4]는 쌀쌀하고 건조한 날과 쌀쌀하고 비오는 날의 피검자들에 대한 반응을 보여준 것이다. 그림에서 보면 2[kV/m]이하의 낮은 전기에서 영향을 감지한 사람은 많지 않음을 알 수 있다.

가정용 전기기기에서 발생하는 전기장도는 미국에서 측정된 자료에 따르면 <표 3>과 같다.

자계의 직접인지

인체가 400~800[Gauss]정도의 자계에 노출되면 자각광감(Phosphores)이라는 시각적 감각을 느낀다. 이런 감각은 유도전류 때문에 발생한다고 여겨지고 있다.

인지 문턱값이라고 가정하고 있는 1[mA/cm²]이상의 전류 밀도를 인

체에 유기기하기 위하여 필요한 자계는 10,000[Gauss]이상이다.

가전기기에서 발생하는 자계강도는 미국에서 측정된 자료에 따르면 <표 4>와 같다.

<표 3> 가정용 전기용품에서 발생하는 전기장도

발생원	전기장도 (30cm지점, V/m)
전기쿠커	4
토스터	40
전기담요	250
전기다리미	60
헤어드라이	40
증발기	40
냉장고	60
텔레비전	30
전축	90
커피포트	30
진공청소기	16
믹서	50
백열전구	2

<표 4> 가정용 전기용품에서 발생하는 자계 강도

발생원	자계 강도 (30cm/mG)
전자레인지	3~50
접시세척기	7~14
냉장고	0.1~3
세탁기	2~20
헤어드라이어	0.7~3
토스터	0.6~8
전기다리미	1~4
믹서	6~150
진공청소기	20~200
건조기	1~100
전기면도기	1~100
텔레비전	0.3~20
형광등	20~240
탁상전등	5~20
전기드롬	10~300
전기드릴	24~40

맺음말

일상생활에서 전기용품의 사용이 날로 확대됨에 따라 나타날 수 있는 인체의 영향을 극히 제한된 범위에 대한 자료를 소개한 것을 아쉽게 생각하면서 우리나라에서도 앞으로 관심을 가지고 이 방면에 체계적인 연구가 될 수 있기를 희망한다.