

국내환경을 고려한 loop impedance 특성 분석

정진수*, 한운기*, 김오환*, 안재민*, 이승재**
 한국전기안전공사 전기안전연구원*, 명지대학교**

Analysis of loop impedance characteristic based on korea internal electrical environment

Jin-Soo Jung*, Woon-Ki Han* O-Huan Kim*, Jae-Min Ahn*, Seung-Jae Lee**
 KESCO-ESRI*, MyongJi University**

Abstract - This Paper present about loop impedance characteristic based on korea internal electrical environment. Analysis parameters were touch voltage, electrical shock current and human body resistance. Result, For protect of electrical shock must measuring of loop impedance. And current capacity & loop impedance are must important parameters.

1. 서 론

1995년 WTO/TBT협정에 따른 국제규격인 IEC60364 가 2005년 12월에 저압용 전기설비(공칭전압 AC 1,000[V], DC 1500[V] 이하)에 적용이 가능하다고 고시되었다.[1] 이에 따라 현행 국내 전기설비 분야는 국내 기준과 IEC (International Electrotechnical Commission : 국제전기표준회의)기준의 선택적 적용이 가능하게 되었다. 그러나 IEC60364에서 언급하고 있는 루프임피던스에 대한 검증이 이루어지지 않아 건축전기설비를 시공할 경우 많은 혼선을 야기하고 있다. 루프임피던스 산정의 경우 전압레벨에 따라 약간씩 차이를 보이고 있으므로 국내환경에 맞는 loop impedance의 산정이 필요하다.

본 논문에서는 IEC 60364에서 제시하고 있는 접지시스템의 국내도입을 위해 loop impedance와 차단기 용량, 접촉전압 및 감전전류와의 상관관계에 대해 검증하여 차단기 용량에 따른 최대 loop impedance를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 인체의 전격영향

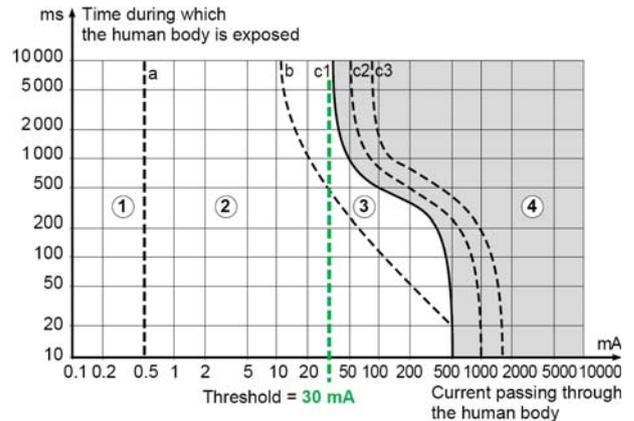
인체에 전압이 인가되면 체내로 전류가 흘러 전격의 정도를 결정하지만, 전압이 인가되더라도 전류의 크기가 작으면 전격은 발생하지 않는다. 외부 인가전압에 대해 통전전류의 크기를 결정하는 것은 통전회로를 구성하는 전기저항이며, 감전사고의 경우에는 보호구나 방호구를 착용하지 않거나 착용하더라도 이의 절연이 파괴된 상태에서 발생하므로, 통전경로상의 저항으로 인체의 저항이 중요한 의미를 갖는다. 인체의 저항은 방호구나 보호구의 저항과는 달리 임의로 변화시킬 수 없으며, 방호구나 방호구를 사용하지 않은 상태에서의 전격은 인체저항만이 통전경로의 전체 저항이 되어 심각한 피해를 입게 된다.

전격현상의 이해와 전격 전류의 크기 및 이로 인한 인체의 충격에 대한 정확한 추정을 위해서는 인체의 전기저항에 대한 올바른 이해가 요구된다. 인체저항은 피부의 자체 저항과 피부와 전극간 접촉저항으로 구성되는 피부저항과 전격시 전류 유입점과 유출점간의 인체 체적저항인 내부 조직저항으로 나타낼 수 있으며, 내부 조직저항은 접촉전압의 크기에 무관하게 거의 일정하지만, 피부저항은 전압의 함수이다. 피부저항은 전압이 높아지면 상대적으로 더욱 낮아지는 경향이 있고 또 전압이 1,000[V] 이상이 되면 피부의 파괴가 일어나 피부의 저항은 무시할 정도가 된다. 엄밀한 의미에서 인체에 교류가 인가되는 경우, 인체는 피부, 혈액, 근육, 기타 세포 및 관절 등, 각 부위가 전류에 대해 저항성과 용량성으로 이루어진 임피던스로 모델링 해야 한다. 이 임피던스의 값은 전류경로, 접촉전압, 통전 지속시간, 주파수, 피부의 습윤 상태, 접촉면적, 접촉압력 및 온도에 의해 결정되므로, 일반적으로 비선형성을 나타내며, 리액턴스 성분이 크지 않다는 가정 하에서 인체를 순수저항으로 간주하는 것이 전격이론에서의 일반적 견해이다.

2.1.1 전류 및 시간과 인체와의 상관관계

IEC 60479에는 감전보호대책 자료로서 “인체를 통과하는 전류의 영향”에 그림 1과 같이 나타내고 있다.

그림 1에 나타난 특성곡선은 실험결과를 토대로 작성된 것으로 심실세동전류와 작용시간간의 관계를 감전의 위험도에 따라 구분하고 있다.



〈그림 1〉 교류 감전전류의 안전한계곡선(IEC 60479)

표1은 그림 1에 대한 설명을 나타내었다.

〈표 1〉 감전전류와 생리학적 영향과의 상관관계

구역	생리학적 영향
구역 ①	보통은 반응 없음.
구역 ②	보통은 유해한 생리학적 영향 없음.
구역 ③	보통은 기관조직의 손상은 예상되지 않는다. 근육수축 및 호흡곤란, 심실세동을 일으키지 않을 정도의 순간적 심박정지 및 심실세동을 포함하는, 심장의 자극생성 및 자극전도의 회복가능한 상태의 우려가 전류치와 시간에 대해 증가한다.
구역 ④	구역 ③의 영향 외에, 심실세동의 가능성이 약 5[%] 이하(곡선 : c2), 약 50[%] 이하(곡선 : c3), 또한, 곡선 : c3를 초과하면 50[%] 초과로 증가한다. 전류치와 시간의 증가에 따라 심박정지, 호흡정지 및 중화상 등의 병태생리학적 영향이 발생할 가능성이 있다.

그림 1은 15~100[Hz]의 주파수를 대상으로 하고 있으며, 주파수에 차이를 둔 감전 위험도의 기준으로 전류와 시간과의 관계를 세분화된 곡선 c로 나타내고 있다.

2.1.2 접촉전압과 인체와의 상관관계

IEC 60364는 교류 1[kV], 직류 1.5[kV] 이하인 저압수용가 설비를 대상으로 하여 건물 내와 그 주변 및 유사 구조물의 전기설비 배선상 안전성 및 그 관련사항에 대한 규격으로서, 건축전기설비에 관련된 내용을 종합하여 다루고 있다.

즉, IEC 60364는 주택용 시설, 업무용 시설, 공공시설, 공업용 시설, 농업용 및 원예용 시설, 조립식 건축물, 이동주택 및 이동주택 사이트는 물론 이와 유사한 장소, 건축현장, 행사장, 전시장 및 기타 임시시설, 마리나 및 레저용 보트 등의 수용가 설비에 적용되며, 전기사업자의 발전, 송전계통, 배전계통에는 적용되지 않는다. 규격의 대상으로는,

- 1) 공칭전압이 교류 1[kV] 또는 직류 1.5[kV] 이하인 전압으로 공급되는 회로(50[Hz], 60[Hz] 및 400[Hz]).
- 2) 전원전압이 1,000[V] 이하인 설비로부터 공급되며, 사용전압이 1,000[V]를 초과하는 방전등, 전기집진기 등과 같은 회로(단, 기기 내부배선 제외)

- 3) 건축물 외부의 수용가 설비
- 4) 전기통신, 신호, 제어 및 이와 유사한 것을 위한 고정배선(기기 내 배선 제외)
- 5) 증설 또는 갱신된 설비 및 기존 설비에서 증설로 인해 영향을 받는 설비 등이며, 전기 철도용 기기, 자동차의 전기기기, 선박의 전기설비, 항공기의 전기설비, 공공의 도로조명용 설비, 광산 내의 설비, 전파 장애 방지기기(설비 안전에 영향을 미치는 경우 제외), 전기장치, 건축물의 뇌보호 설비 등은 대상 외이다.

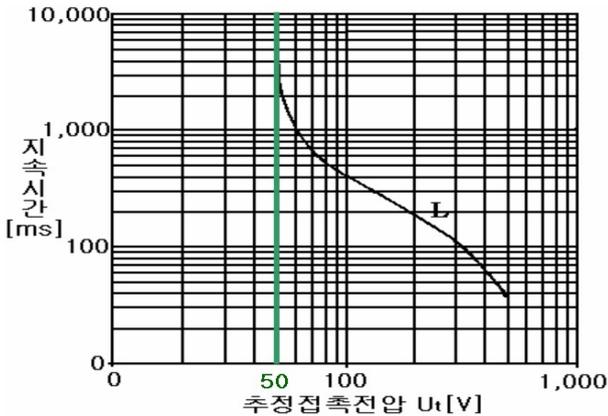
한편, 허용 접촉전압은 감전전류의 안전관계곡선 및 인체임피던스 기준으로 심실세동이 발생하지 않는 전압이다.

접촉전압을 결정하는 요소 중 하나로 인체임피던스가 있다. 이 임피던스는 인체에 흐르는 감전전류의 경로, 인체가 처해 있는 환경에 따라 달라진다. 따라서 접촉전압을 구하기 위해 감전전류의 경로는 양손에서 양발, 환경은 건조 또는 습한 장소라고 가정하고 있다. 또한, 감전전류는 인체를 통과하는 시간에 관계되어 있으므로, 접촉전압도 시간에 보존하는 것으로 되어 있다.

이를 토대로, 접촉전압(U_t), 인체의 임피던스(Z), 감전전류(I) 및 시간(t)의 관계를 이론적으로 계산해 보면 표 2와 같으며, 이것을 도시하면 그림 2와 같다.

〈표 2〉 추정접촉전압과 최대 차단시간과의 관계(IEC 1200-413)

추정접촉전압(U_t)[V]	Z [Ω]	I [mA]	t [ms]
≤ 50	1,725	29	∞
75	1,625	46	500
100	1,600	62	400
125	1,562	80	330
220	1,500	147	180
300	1,460	205	120
400	1,425	280	70
500	1,400	350	40



〈그림 2〉 추정접촉전압의 안전관계곡선(IEC 1200-413)

이 그림에서, 50[V]는 시간과는 관계없는 연속 허용접촉전압이며, IEC 규격에서는 규약접촉전압으로 정의하고 있다.

2.2 Loop impedance와 감전전류 및 접촉전압과의 관계

위에서 언급하였듯이 감전전류 및 인체저항과의 상관관계에 의해 접촉전압의 범위가 규정되게 된다. 다시 감전전류와 접촉전압 및 인체 저항에 의해 loop impedance의 크기가 정해지게 되며 인체 감전전류와 접촉전압의 상관관계 및 loop impedance와의 관계는 아래식과 같다.

IEC1200-413에 근거를 두어 건조상태에서 인체는 1,725[Ω]의 인체 임피던스를 가지고 있으며 이때 인체 감전전류의 한계치는 30[mA] 이하일 경우 80[%] 이상이 안전하다 할 수 있다. 이를 식 (1)에 대입하여 환산해 보면

$$V_t = I_{es} \cdot R_b \quad (1)$$

(V_t : 접촉전압, I_{es} : 감전전류, R_b : 인체저항)

계산결과, 접촉전압 51.7[V] 이하일 경우 인체는 감전으로부터 안전하다는 결과를 도출하게 된다. IEC60364에서는 이를 근거로 접촉전압을 50[V] 이내로 규정하고 있다. 이러한 접촉전압은 국가마다 약간씩 차이가 있는데 일반적으로 230[V]를 사용하는 국가의 경우 46[V] 이내를 접촉전압으로 규정하고 있다. 이를 근거로 하여 국내의 경우 현재 220[V]

를 사용하고 있으므로 본 논문에서는 접촉전압을 44[V]로 규정하였다.

위의 내용으로 도출된 인체저항, 감전전류와 접촉전압의 상관관계를 이용하여 차단기의 최대 정격전류와 loop impedance의 상관관계를 도출하기 위해 식(2)를 이용하여 보호설비의 정격전류에 대한 최대 loop impedance를 도출하였다.

$$Z_s = 44[V] \cdot I_s \quad (2)$$

(Z_s : loop impedance, I_s : 보호설비 정격전류)

식 (2)를 이용하여 loop impedance를 계산한 결과 및 현재 국내에서 사용되고 있는 차단기를 대상으로 차단기 정격전류를 선정하여 보호설비 정격전류에 따른 최대 loop impedance와의 상관관계를 표3에 나타내었다.

〈표 3〉 차단기 정격전류와 최대 loop impedance

최대 Loop Impedance(Z_s)	
보호설비 정격전류[A]	220[V]-(0.4/5s)
3	14.67
5	8.80
10	4.40
15	2.93
16	N/A
20	2.20
25	N/A
30	1.47
32	N/A
40	1.10
50	0.88
60	0.73
63	N/A
75	0.59
80	N/A
100	0.44
125	N/A
160	N/A

3. 결 론

loop impedance의 특성을 분석한 결과 인체저항과 감전전류와 시간과의 상관관계, 접촉전압과 시간과의 상관관계, 보호설비의 정격전류간의 상호관계 및 전압레벨에 의해 loop impedance가 결정이 되는 것을 확인하였다. 본 논문의 결과는 인체보호를 목적으로 loop impedance의 최대 값을 산정한 결과로 추후 산업용 차단기에 대한 loop impedance 산정이 필요하다.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] BS7671, "Requirements for Electrical Installation", British Standards, 2008.
- [2] 정진수, 한운기, "국제 건축전기설비 기준 (IEC 60364)의 국내 적용 실태조사", 한국조명 전기설비학회 논문집, Vol. 22, No. 10, pp. 134 ~ 140, 2008
- [3] 기술표준원, "KS C IEC 60364", 한국표준협회, 2005, 12.
- [4] 정진수, 한운기, 이한상, "IEC60364기반 건축전기설비 점검기법 개발을 위한 현장실태 조사", 한국조명 전기설비학회 논문집, Vol. 23, No. 5, pp. 1~18, 2009
- [5] 정진수, 한운기, 김오환, "Loop Impedance 측정을 통한 접지계통 비교분석", 대한전기학회 춘계전기설비전문위원회, 2009. 04