

등전위본딩(Equipotential Bonding)(2)

이기홍 (LH공사 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원)

지난 호에 이어 금번 호에서는 인체의 감전현상과 본딩 적용 기준에 대한 개념을 소개합니다.

1 교류 전류에 대한 인체의 생리학적 영향

인체가 감전되었을 때 위험을 초래하는 주요 요인은 인체에 흐르는 전류의 크기와 통전시간, 그리고 통전 경로입니다. 따라서 IEC에서는 일반적인 사람을 기준으로 전류가 왼쪽 손에서 양다리로 흐르는 통전 경로를 상정하여 통전전류와 통전시간에 따라 인체에 나타나는 생리학적인 현상을 그림 1과 같이 규정하고 있습니다.

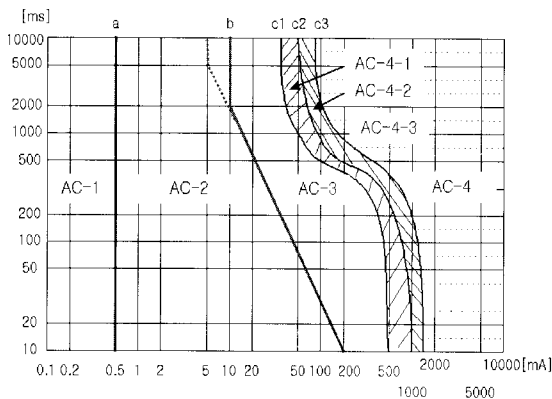


그림 1. 감전전류 및 통전시간에 대한 인체의 영향

그림 1에서 선 a는 전류감지의 시작을 나타내며 선 b는 근육 반응의 시작을 나타냅니다. 반면에 c1 곡선은 심실세동의 시작을 나타내는 기준선이며 c2는 심실세동이 일어날 확률 5(%), c3는 심실세동이 일어날 확률 50(%)를 나타내는 기준선입니다.

따라서 그림 1의 AC-1은 인체에 전류가 흐르는 것을 감지 못하는 영역이며 AC-2는 전류가 인체에 흐르는 것을 감지하는 정도의 영역입니다. AC-3는 근육이 반응하는 영역이고 AC-4는 심실세동이 발생되어 치명적인 사망이 발생 될 수 있는 영역을 의미합니다. 전류의 경로도 감전시 인체에 미치는 영향이 큽니다. 표 1은 왼쪽손에서 양다리로 전류가 흐를 때 인체에 미치는 영향을 1로 규정하고 이에 대비한 다양한 통전경로들에 대하여 인체에 미치는 영향의 정도를 나타내고 있습니다.

표 1. 통전경로별 인체에 미치는 영향

F	왼손	오른손	양손
왼발	1	0.8	
오른발	1	0.8	
양발	1(기준)	0.8	1
양손	0.4	0.4	
등	0.7	0.3	
가슴	1.5	1.3	
엉덩이	0.7	0.7	

2. 인체의 저항

인체는 전기적으로 용량성 임피던스로 간주됩니다. 그러나 상용주파수에서 용량성 임피던스는 무시되어 단순한 저항으로 표현됩니다.

인체의 저항은 고정된 값이 아니고 여러 환경적 요인에 의해 변화됩니다. 특히 접촉전압에 대해서도 비선형적으로 변화됩니다.

표 2는 손과 발사이의 표준적인 인체 저항값을 표시하고 있습니다.

표 2. 손과 발사이의 통계적 인체 저항값

접촉전압 (V)	인체저항(Ω)		
	5(%)	50(%)	95(%)
25	1225	2275	4270
50	1015	1838	3063
75	875	1540	2450
100	840	1313	2240
125	788	1138	2713
220	700	945	1488
700	525	770	1985
1000	490	735	1050

인체는 그림 2와 같이 팔과 다리의 저항만으로 모델링됩니다. 가슴은 단면적이 크고 수분이 많기 때문에 저항이 낮아서 무시하기 때문입니다. 일반적으로 감전되는 경로는 그림 3과 같이 손-손, 손-발로 이어지는 두 가지 경로입니다.

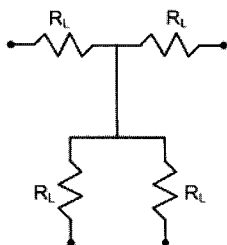


그림 2. 인체의 등가회로

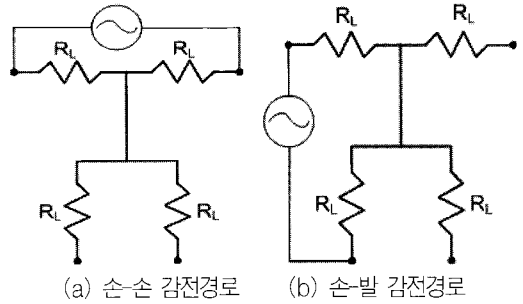


그림 3. 인체의 감전경로

이중 손-손으로 이루어지는 경로를 따라 감전되는 경우는 손-발로 구성되는 경로를 따라 감전되는 경우보다 저항이 크기 때문에 덜 위험합니다.

3. 인체와 대지와의 접촉저항

인체와 대지와의 접촉저항(피부저항을 의미함)(RBG)이 크면 클수록 감전의 위험을 최소화시킬 수 있습니다. 인체와 대지와의 접촉저항은 바닥 재료의 특성에 따라 좌우되는데 그림 4는 일반적으로 인정되어지고 있는 바닥재료의 저항을 나타냅니다.

표 3. 일반적인 바닥재료의 저항값 단위:(kΩ)

바닥	바닥저항(kΩ)					
	건조상태			젖은 상태		
	최소	평균	최대	최소	평균	최대
카펫트	77	370	1800	76	360	1700
세라믹	3	400	1500	2	60	600
콘크리트	3	200	400	0.5	2	4
대리석	46	600	1500	1	300	1250
적벽돌	3	200	700	1	3	8
나무마루	670	1400	1900	160	1000	1600

IEC에서는 보수적으로 인체와 대지와의 접촉저항을 보통의 경우에 1,000(Ω), 특수한 경우(병원, 건

설현장, 농업용 구조물 등)에는 200(Ω)을 기준으로 합니다. 따라서 허용접촉전압도 보통의 경우 50(V)이지만 특수한 경우에는 25(V)입니다. 또한 IEC(IEC 60479-1)에서는 실내에서의 생활을 상정하기 때문에 신발의 저항은 고려하지 않습니다.

4. 허용 접촉전압

인체는 전압보다는 전류에 더 민감합니다. 그럼에도 불구하고 전기안전에 대한 기준을 설정할 때 전류보다는 전압을 사용하는 것이 일반적입니다.

이때 허용가능한 접촉전압이 어떻게 설정되는지를 설명하기 위해 그림 4와 같이 감전되는 최악의 상태(신발을 신고 있지 않은 사람이 서있는 상태)에서 두 손이 도전부에 감전되는 경우를 가정하겠습니다(전원의 임피던스는 무시).

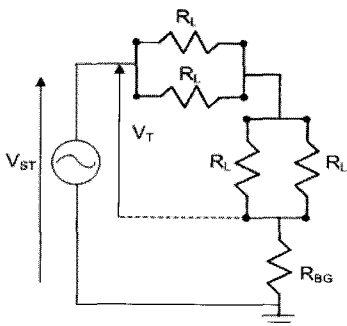


그림 4. 최악의 감전상태 등가회로

이 경우 지면과의 접촉저항(피부저항)을 포함한 총 저항(R_T)은

$$R_T = R_L + R_{BG}$$

입니다. 여기에서 R_L은 표 2에서의 인체 저항값과 동일하며 R_{BG}는 1,000(Ω)(특수한 경우 200(Ω))입니다. 따라서 전체저항(R_T)에 대한 접촉전압을 구하

기 위해 표 2의 5(%)에 해당하는 인체저항 788(Ω)을 예로 들면 인체에 흐르는 감전전류는

$$I_{Body} = 125(V) / (788 + 1,000)(\Omega) \approx 70(mA)$$

가 됩니다. 이 전류값을 그림 5의 C1 곡선의 밑에 있는 안전곡선에 대입하면 허용가능 접촉시간이 약 450(ms)임을 알 수 있습니다. 이 허용가능 접촉시간이 바로 125(V)에 대한 허용가능 접촉시간임을 의미합니다. 이와 같은 방법으로 접촉전압별 허용가능 접촉시간을 구하면 그림 6과 같은 안전곡선을 얻을 수 있습니다(하단곡선은 인체와 대지와의 접촉전압이 200(Ω)의 경우, 상단곡선은 1,000(Ω)인 경우).

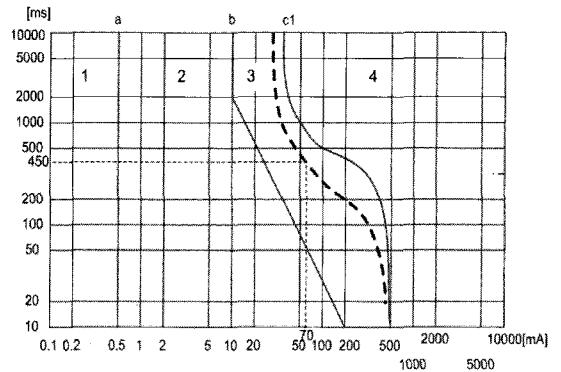


그림 5. IEC의 교류전류에 대한 안전곡선(점선)

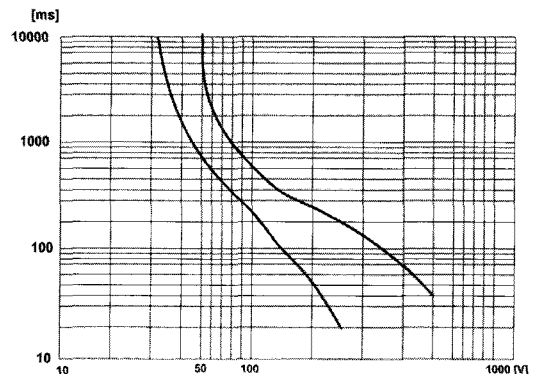


그림 6. IEC의 교류전압-접촉시간의 안전곡선

5. 본딩의 적용 기준

전기설비 판단기준에서는 통합접지공사를 하는 경우 사람이 접촉할 우려가 있는 범위에 있는 모든 고정설비의 노출도전부 및 계통외 도전부는 등전위본딩을 하도록 하고 있습니다.

IEC 표준에서 노출도전부(exposed-conductive-part)는 "정상상태에서는 충전되어 있지 않지만 기초절연고장 시에 충전부로 될 수 있는 기기의 도전부"를 말합니다. 계통외 도전부(Extraneous Conductive Part)는 "전기설비의 일부는 아니지만 대지전위가 발생될 수 있는 건축물의 구성부재(철근, 철골), 금속제 설비(덕트, 엘리베이터 레일 등), 금속제 배관 등 고장전류의 경로가 되는 도전부"로 정의하고 있습니다.

건축물에서 본딩시스템을 구현할 때 모든 금속을 본딩하는 것은 많은 시간과 경비가 소요되므로 현실적으로 어렵습니다. 그렇다면 어떠한 금속을 본딩하고 어떠한 금속은 본딩을 하지 않을까요?

이러한 기준이 아직 정확히 정립되어있지 못한 것이 현실이지만 기본적으로는 본딩의 역할이 전위차를 해소하여 위험요소를 줄이는 것이라는 개념에 근거하여 판단하여야 합니다.

본딩의 적용 기준에 대하여 엔지니어 Massimo Mitolo(이탈리아)는 계통외도전부의 경우 대지와외 접촉전압이 1,000(V)을 초과하면 본딩이 필요없다고 주장하고 있습니다. 이는 인체의 바닥면에 대한 접촉저항 1,000(Ω)에 근거한 주장입니다.

또한 이중절연으로 이루어진 금속부는 기초절연이 손상되더라도 충전부가 되지 않기 때문에 본딩을 할 필요가 없게 됩니다.

계통외도전부의 경우, 상황에 따라서는 본딩이 감전을 초래하는 가능성도 발생 될수도 있으므로 상황에 따라 신중히 검토를 하여야 합니다.

예를 들어 그림 7과 같이 건물의 최상층에서 다목

적으로 사용되는 배란다의 금속제 난간을 피뢰설비와 본딩하면 감전위험성이 더 높아지게 됩니다.

결론적으로 본딩은 경제적 측면과 안전성 확보 측면을 종합적이고 합리적으로 고려하여 적용하여야 합니다.

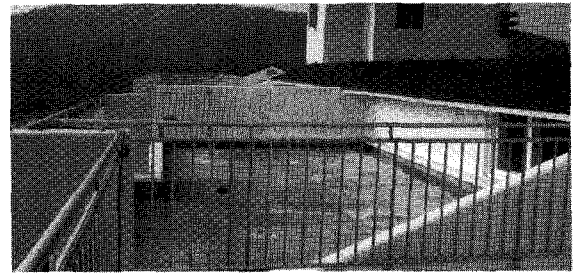


그림 7. 옥상층의 난간과 본딩

※ 다음 호에 등전위본딩 기술 해설이 계속됩니다.

참 고 문 헌

- [1] IEC 60364-54(2002).
- [2] IEC 62305-3, 2006.1.
- [3] Massio Mitolo, "Effects of Electrical Currents and Bonding Requirements in Building", 41st IAS Annual Meeting, Conference Record of the 2006 IEEE, p. 1816-1820, Volume 4.
- [4] Massimo Mitolo, "Protective Bonding Conductors: An IEC Point of View", IEE Transactions on industry applications, VOL. 44, NO.5, 2008.

◇ 저 자 소 개 ◇



이기홍(李起弘)

1962년 11월 17일생. 1988년 충남대 공대 전기공학교육과 졸업. 1990년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원. 한국조명전기설비학회 편수이사. IEC TC 81, MT 8 국제전문위원(Member). IEC TC 37 국내 전문위원회 위원장. IEC TC 64 & 81 국내전문위원. APL(아시아태평양 피뢰설비 컨퍼런스) 한국위원장. APEI(아시아태평양 전기설비 컨퍼런스) 한국위원장. E-mail : lkh21@lh.or.kr