

직류시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 분석

김동우, 임용배, 이상익, 최명일, 문현욱
전기안전연구원

Analysis of Body Protection Methods according to the Grounding types of DC systems

Dong-Woo Kim, Young-Bae Lim, Sang-Ick Lee, Myeong-Il Choi, Hyun-Wook Moon
Electrical Safety Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 교류와 직류에 따른 인체 영향에 대한 특성과 차이점을 분석하였으며, 직류시스템의 접지방식에 따라 인체 보호방법을 분석하여 각각의 분류방식에 따른 적절한 보호방법을 제시하였다.

1. 서 론

IEC 60364에서는 교류 시스템과 마찬가지로 직류시스템도 전원측과 설비측의 접지방식에 따라 TT, TN(TN-C, TN-S, TN-C-S), IT DC 시스템으로 구분하고 있으며, 동작환경에 따라 전원부의 접지를 양극, 음극, 중간점 등을 접지하도록 하고 있다[1-2]. 그러나, 이러한 다양한 접지방식을 복합적으로 고려한 세부 적용 방법이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 접지방식에 따른 감전경로 등을 분석하였으며, 이에 따른 적절한 보호방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 직류에 의한 인체의 영향

인체에 전류가 흘렀을 때 안전한계에 대한 규정은 연구가 지속되어 왔으며, 그중 감전 방지를 위한 인체 허용 전류를 제시하는 규정은 IEC 60479에 제시되어 있다. IEC 60479-1에서는 인체와 가축에 대한 전류의 영향에 대한 일반적인 사항을 기술하고 있으며[3], IEC 60479-5에서는 생리학적인 영향에 대한 접촉전압의 한계값에 대해 기술하고 있다[4].

AC 및 DC전류에 의한 인체의 영향은 차이가 있다. 감전의 위험은 근본적으로 전류의 크기, 전류의 지속시간, 전류 경로, 전원의 종류(AC 또는 DC)에 따라 결정되며, DC의 경우에 있어서는 전류의 방향(상향 또는 하향)도 안전에 영향을 미친다.

인체에 전류가 흐를 때 통전시간에 따른 직류의 한계값이 교류의 한계값 보다 크다. 따라서, 직류가 교류보다는 상대적으로 안전하다고 볼 수 있다. 다만, 직류의 경우 주의할 점은 직류는 방향성이 있어서 전류의 방향이 하향전류일때 심실세동한계가 상향전류일때 보다 약 2배 정도 크다. 따라서, 상향전류일때가 하향전류일때 보다 위험하므로 안전상에 특히 더 주의해야 한다[2-4].

2.2 전원부 접지방식 분류

AC 시스템과 마찬가지로, DC시스템에서도 접지방식은 다양하다. 직류시스템에서는 전원부의 접속지점에 따라 양극 접지, 음극 접지, 중간점 접지로 분류되며, The green grid의 white paper에서는 대지와 접속시 저항삽입여부에 따라 직접접지, 임피던스접지, 비접지, 전압제한 접지 등으로 세부 분류하고 있다. 본 논문에서는 Green grid의 white paper에서 제시한 각각의 가능한 접지방식기술 및 분석하였다[5].

2.2.1 양극접지방식

양극 접지방식은 양(+) 도체를 직접 대지로 접속하는 방법, 양(+) 도체에 임피던스를 삽입하여 대지로 접속하는 방법, 양(+) 도체에 과도전압보호 소자를 삽입하여 전압을 제한하는 방법 등으로 분류된다.

양(+) 도체를 접지하였을 경우 지락이 발생하였을 때 상향전류가 흐르기 때문에 감전에 대한 위험성은 음(-) 도체를 접지하였을 때 보다 상대적으로 높으므로, 이에 대한 보호대책이 필요하다.

2.2.2 음극접지방식

음극 접지방식은 음(-) 도체를 직접 대지로 접속하는 방법, 음(-) 도체에 임피던스를 삽입하여 대지로 접속하는 방법, 음(-) 도체에 과도전압보호 소자를 삽입하여 전압을 제한하는 방법 등으로 분류된다.

음극 접지방식과 관련하여 전기설비 기술기준의 판단기준에 의하면 직류전기설비의 접지시설을 양(+) 도체를 접지하는 경우 감전에 대한 보호를 하여야 한다고 규정하고 있으며, 직류전기설비의 접지시설을 음(-) 도체를 접지하는 경우 전기부식방지장치를 하여야 한다고 규정하고 있

다.

음(-) 도체를 접지하였을 경우 지락이 발생하였을 때 하향전류가 흐르기 때문에 감전에 대한 위험성은 양(+) 도체를 접지하였을 때 보다 상대적으로 낮기는 하나, 직류 전압이 높아짐에 따라서 접지시설의 음(-) 도체를 접지하는 경우도 감전의 위험성은 증대되므로, 지락보호장치가 필요하다.

2.2.3 중간점 접지방식

중간점 접지방식은 대지전압을 낮추는 효과가 있어서, 현재, 북미와 캐나다 등에서는 감전에 대한 위험성을 방지하기 위해 중간점 접지방식을 제안하고 있다. 또한, 우리나라의 전기설비기술기준의 판단기준 제 166조에는 ‘주택의 옥내전로(전기기계기구내의 전로를 제외한다)의 대지전압은 300V 이하이어야 한다.’고 규정하고 있다. 따라서, 직류배전전압 적용 검토시 DC 380V에 중간점 접지방식을 적용하였을 경우, 대지전압은 DC 190V가 되어 국내 기준을 만족하게 된다.

중간점 접지방식은 다음과 같이 세부적으로 5가지 방법으로 분류된다.

- (1) 전원의 양극과 음극 중간점을 직접 대지로 접속하는 방법 (직접접지)
- (2) 중간점에 임피던스(1개)를 삽입하여 대지로 접속하는 방법 (임피던스 접지 A형)
- (3) 중간점을 찾기 어려운 경우 전원에 고저항의 임피던스(2개)를 병렬로 삽입하고 삽입된 임피던스의 중간점을 접지하는 방법 (임피던스 접지 B형)
- (4) 전원의 양극과 음극 중간점에 과도전압보호 소자(1개)를 삽입하여 전압을 제한하는 방법(전압제한 접지 A형)
- (5) 전원에 과도전압보호 소자(2개)를 병렬로 삽입하고 그 중간점을 접지하는 방법(전압제한 접지 B형)

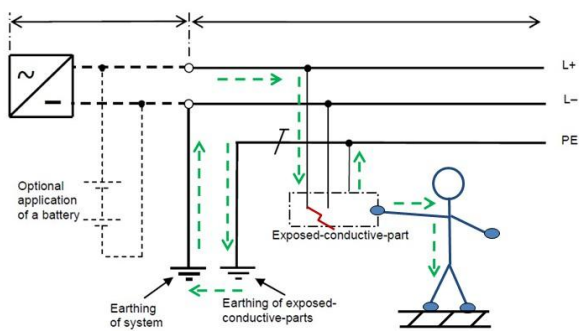
중간점 접지방식중 “(3) 임피던스 접지(B형)” 방식은 중간점을 찾기 어려운 경우 유용한 방식이나, 각각의 저항이 차이가 발생하는 경우 양극(+)과 대지 사이 및 음극(-) 과 대지사이에 전위차가 발생할 수 있다. 이 경우 대지에 대한 전압의 균형이 깨지기 때문에, 이를 방지하기 위한 대책이 필요하며, 밸런서를 사용하는 것도 대안이 될 수 있다.

2.3 전원 및 설비측 관계에 따른 접지방식 분류(TT, TN, IT)

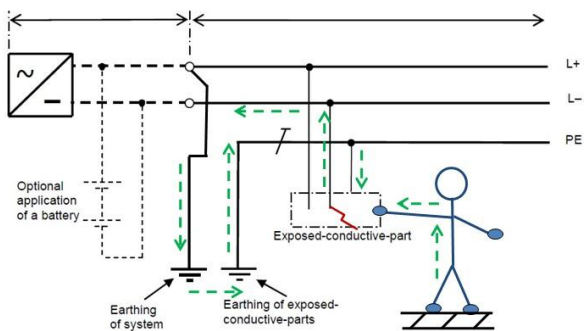
IEC 60364(Low-voltage electrical installations)에서는 교류접지시스템과 마찬가지로 직류접지시스템도 전원측과 설비측의 접지방식에 따라 TT, TN, IT 시스템으로 구분하고 있다[1-2]. 또한, 동작환경에 따라 전원부의 접지를 양극 또는 음극을 선택하도록 하고 있으나, 중간점 접지방식에 대해 자세한 내용이 제시되어 있지 않다. 중간점 접지방식에 대한 상세한 내용은 상기 언급한 바와 같이 Green grid의 white paper에서 제시하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 직류시스템 전원부의 양극, 음극 접지에 따라 TT, TN, IT 각각의 분류방식에 따른 보호방법을 제시하였다.

2.3.1 TT DC system

<그림 1>(a)는 IEC 60364에서 제시하는 TT DC 시스템중 Type a TT DC 시스템의 전원부 음극 도체를 접지한 경우를 나타낸 그림으로서, 이때 부하설비 노출도전부의 양극에 지락이 발생한 경우 전류는 하향 경로를 형성한다. 이때 IEEE 논문에 의하면 300V DC 정도까지는 하향경로의 지락전류는 추가적인 보호없이도 시스템은 안전하다고 알려져 있다[2]. 그러나 만약 <그림 1>(b)에 나타난 바와 같이 양극 도체를 접지한 경우 부하설비의 노출도전부에 음극지락이 발생한 경우 전류는 상향 경로를 형성한다. 따라서 상향전류는 하향전류보다 위험하기 때문에 누전차단기를 필요로 한다.



(a) 하향경로(음극도체 접지, 양극지락)

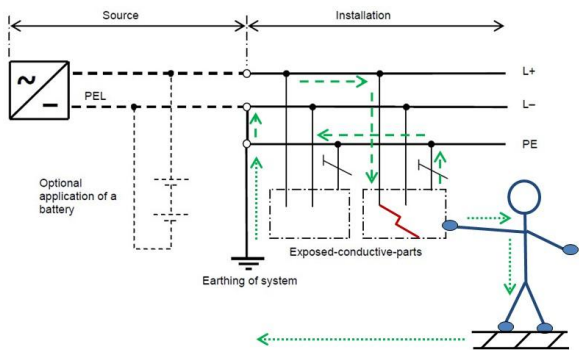


(b) 상향경로(양극도체 접지, 음극지락)

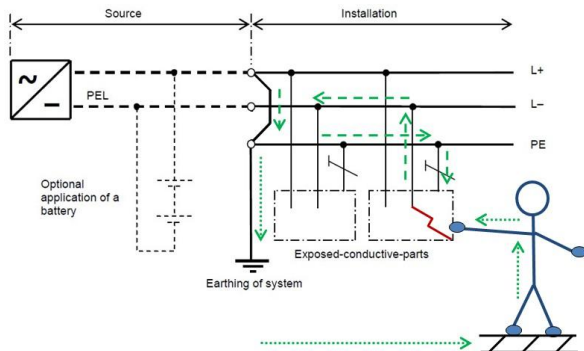
<그림 1> TT DC 시스템(Type a)의 하향경로 및 상향경로 흐름 분석

2.1.2 TN DC system

TN 시스템은 TN-C, TN-S, TN-C-S 등으로 나뉘어진다. 이중 인체 안전성 측면에서 가장 바람직한 방식은 TN-S 시스템이며, 본 연구에서는 TN-S DC 시스템의 지락시 경로 흐름을 분석하였다.



(a) 하향경로(음극도체 접지, 양극지락)



(b) 상향경로(양극도체 접지, 음극지락)

<그림 2> TN-S DC 시스템(Type a)의 하향경로 및 상향경로 흐름 분석

<그림 2>의 (a)는 TN-S 시스템 전원부의 음극 도체를 접지한 경우 양극지락이 발생하였을 때를 나타낸 그림으로서, TT DC 시스템과 마찬가지로 부하설비 노출도전부 양극에 지락이 발생한 경우 전류는 하향 경로를 형성하기 때문에, 양극 도체를 접지한 경우보다 심실세동전류의 한계값 및 허용접촉전압의 한계값이 증가하므로 상대적으로 안전하다.

<그림 2>의 (b)는 TN-S 시스템 전원부의 양극 도체를 접지한 경우 음극지락이 발생하였을 때를 나타낸 그림으로서, TT DC 시스템과 마찬가지로 부하설비 노출도전부 음극에 지락이 발생한 경우 전류는 상향 경로를 형성하기 때문에, 보호차단기가 제한된 시간안에 트립되지 못할 경우 누전차단기를 필요로 한다[2].

2.1.2 IT DC system

IT DC 시스템은 1차 지락이 발생하더라도 접촉전압이 아주 낮기 때문에 추가적인 보호 없이도 감전사고를 예방할 수 있는 장점이 있다. 또한, 의료시설과 같은 전원공급의 연속성을 필요로 하는 장소에서 사용될 수 있는 장점이 있다.

다만, 1차 고장이 발생하였을 때 고장검출이 어려우므로, 절연모니터링 장치(IMD, insulation monitoring device)와 같은 보호수단과 보호장치를 사용하여 초기지락이 발생한 경우를 모니터링해야 한다. IT DC 시스템에 있어서 1차 고장과 2차 고장이 동시에 발생할 경우 인체가 노출도전부를 접촉하였을 때 상향전류에 의해 감전이 발생할 수 있으므로 누전차단기의 적용이 필요하다. 따라서, IT DC 시스템은 양도체 및 음도체 접지여부와 상관없이 갈바닉 분리가 가능하므로 DC 시스템의 문제점의 하나인 전선에 대한 예방효과가 큰 반면, 절연에 대한 감시와 운전을 위해 관리가 필요하다.

3. 결 론

본 연구에서는 직류시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 개발을 위하여, 첫번째로 IEC 60479에서 제시하는 직류에 의한 인체의 영향을 분석하였으며, 두번째로 Green grid의 White paper에서 언급하는 전원부 접지방식 분류(양극 접지, 음극 접지, 중간점 접지)에 따른 보호방법을 분석하였으며, 세번째로 IEC 60364에서 분류하는 전원 및 설비측 관계에 따른 접지방식 분류(TT, TN, IT)에 따른 보호방법을 분석하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 직류는 방향성이 있어서 전류의 방향이 하향전류일때 심실세동한계가 상향전류일때 보다 약 2배 정도 크다. 따라서, 상향전류일때가 하향전류일때 보다 위험하므로 안전상에 특히 더 주의해야 한다.
- (2) 중간점 접지방식은 대지전압을 낮추는 효과가 있어서, 감전에 대한 위험성을 방지하기 위한 효율적인 방법으로 판단된다. 다만, 중간점 접지방식중 “임피던스 접지(B형)” 방식은 중간점을 찾기 어려운 경우 유용한 방식이나, 각각의 저항이 차이가 발생하는 경우 양극(+) 과 대지 사이 및 음극(-) 과 대지사이에 전위차가 발생할 수 있다. 이 경우 대지에 대한 전압의 균형이 깨지기 때문에, 이를 방지하기 위한 대책이 필요하며, 밸런서를 사용하는 것도 대안이 될 수 있다.
- (3) 중간점 접지방식이 어려운 경우, 양극 또는 음극을 접지시 TT 및 TN-S DC 시스템의 통전 경로를 분석한 결과, 전원부의 양극도체를 접지한 경우 음극지락이 발생하였을 때 인체는 상향전류가 흐르므로 감전의 위험성은 높아지며, 이때 누전차단기의 필요성은 증대된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2013T100200060)

[참 고 문 헌]

[1] IEC, “IEC 60364-1”, pp30-35, 2005
 [2] Lulu Li, Jing Yong, “Investigation on the System Grounding Types for Low Voltage Direct Current Systems”, IEEE Electrical Power & Energy Conference, 2013
 [3] IEC, “IEC 60479-1”, 2005
 [4] IEC, “IEC 60479-5”, 2007
 [5] The Green Grid, “Issues relating to the adoption of higher voltage direct current power in the data center”, White paper #31, pp16-24, 2010