ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 5, pp. 608~614, 2014
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.5.608

LVDC 배전계통의 접지방식에 따른 인체안전 및 계통영향 분석

Analysis of Human Safety and System Effect according to Grounding Scheme in LVDC Distribution System

오 윤 식* · 한 준* · 권 기 현* · 김 두 웅* · 노 철 호* · 정 택 현* · 김 철 환†
(Yun-Sik Oh · Joon Han · Gi-Hyeon Gwon · Doo-Ung Kim · Chul-Ho Noh · Tack-Hyun Jung · Chul-Hwan Kim)

Abstract - Recent developments and trends in the electric power consumption clearly indicate an increasing use of DC in end-user equipment. According to the trends, new DC power distribution systems have been researched and developed although we presently enjoy a predominantly AC power distribution system. We can use various grounding schemes in DC distribution system as well as in AC distribution system to protect human body and equipments. However, we need to evaluate carefully which grounding scheme is appropriate for a specific system before applying those schemes. In this paper, we analyze the human safety and system effect according to various grounding schemes in Low Voltage DC (LVDC) distribution system. Some components in LVDC distribution system are modeled and computer simulations are conducted by using ElectroMagnetic Transient Program (EMTP).

Key Words : EMTP, Human safety, LVDC distribution system, System grounding scheme

1. 서 론

최근 에너지의 효율성 개선 및 손실 저감을 위한 노력이 전 세계적으로 진행되고 있으며, 디지털 부하의 급격한 증가와 신재생 에너지원의 수요가 점차 커져감에 따라 DC 전력계통에 대한 필요성이 커지고 있다[1]. AC 전력계통과 비교할 때, DC 전력계통은 주파수 안정도, 무효전력 및 AC 손실과 같은 문제점들이 발생하지 않으며, 수용가 측의 효율성과 신뢰성 측면에서 장점을 가진다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고, 계통 보호 및 접지에 대한 충분하지 않은 가이드라인 및 표준 확립으로 인해 DC 전력계통의 상용화가 늦어지고 있다. 이에 따라 DC 계통의 보호기기 및 계통 접지 방법에 관한 추가 연구가 진행되고 있는 실정이다[2].

계통 접지는 기기의 손상 방지와 인체의 안전 확보를 위해 전원 측을 대지와 접속시키는 것을 의미하며, 저압측으로 갈수록 인체와 관련된 문제가 커짐에 따라 접지 측면에 대한 고찰이 필수적이다. 계통 접지는 다양한 접지 방법에 따라 각각의 장·단점을 지닌다. 만일 계통 접지를 수행할 경우, 전력선에 인체가 접촉하면 인체와 대지의 접촉상태로 폐회로가 형성되며 많은 전류가 인체로 흐르기 때문에 감전사고의 위험이 있지만, 정상운전 시 발생되는 계통의 대지전위를 낮추고 지락고장의 검출이 용이하다는 장점이 있다. 반면, 계통 접지를 수행하지 않는 경우에는 전력선에 대한 인체 접촉 시에도 폐회로가 발생하지 않아 감전사고를 예방할 수 있지만, 고장전류가 작기 때문에 지락고장을 검출하는 데 어려움을 겪을 수 있다[3-4]. 따라서 안전하고 신뢰성 있는 계통 운영을 위해, 다양한 접지방식에 따른 인체안전 및 계통영향에 대한 자세한 분석 및 장·단점에 대한 고찰이 필수적으로 선행되어야 한다.

본 논문에서는 다양한 계통 접지방식에 따른 인체안전 측면, 전압 과도현상 및 보호 측면을 고려한 분석을 수행하였다. 모의를 위해 EMTP(ElectroMagnetic Transient Program)를 이용하여 다양한 조건에서의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 모의 계통에 사용되는 DC배전 전력 변환기기 및 선로를 모델링하였으며 이를 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다.

* College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea
† Corresponding Author : College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea
E-mail : hmwkim@hanmail.net
Received : February 10, 2014; Accepted : March 31, 2014

2. LVDC 배전계통

2.1 LVDC 배전계통의 필요성

최근 에너지 효율성 개선 및 손실 저감을 위한 솔루션의 일환으로 LVDC(Low-Voltage Direct Current) 배전계통이 대두되고 있다. 그림 1에서 나타난 것과 같이, 미국의 전력연구소 EPRI는 2020년까지 부하의 50%가 디지털 부하로 대체될 것을 예측하고 있으며, 이에 따라 DC를 바로 공급하여 변환 손실을 줄일 수 있는 LVDC 배전계통이 큰 장점을 가지게 될 것으로 예측된다[5-6]. 또한, 최근 급증하고 있는 신재생에너지의 계통 연계 시 전력변환 단계를 줄여 변환 손실을 크게 줄일 수 있다는 점이 있으며, 그 밖에도 AC에서 발생할 수 있는 주파수 안정도, 무효전력 발생 및 AC 손실과 같은 문제들이 DC에서는 무시될 수 있다는 점이 LVDC 배전계통의 주요 장점이다.

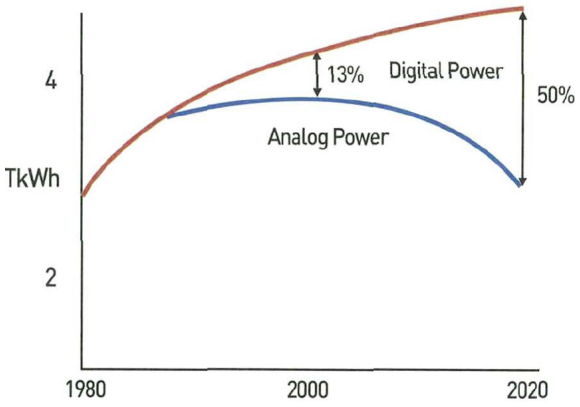


그림 1 디지털 및 아날로그 부하의 변화 예측 그래프(EPRI)
Fig. 1 Estimation graph for digital and analog load change(EPRI)

2.2 LVDC 배전계통의 AC/DC 컨버터 모델링

LVDC 배전계통의 구성을 위해서는 다양한 구성요소가 요구된다. 그림 2는 핀란드의 LUT (Lappeenranta University of Technology)에서 제시한 실현 가능한 DC 배전망의 구성 방법이다[7]. 아래의 그림에서 확인할 수 있듯이, DC 배전망에서는 다양한 전력변환기기가 사용되지만 전력회사로부터 공급되는 AC를 DC로 변환시키기 위해 우선적으로 AC/DC 컨버터가 요구된다. 본 논문에서는 EMTP/ATPDraw를 이용하여 주요 전력변환기기인 3상 PWM AC/DC 컨버터를 모델링하였다.

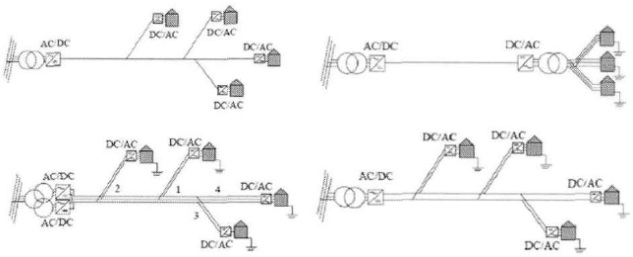


그림 2 다양한 DC 배전망 구성 방법(LUT)
Fig. 2 Various construction schemes for DC distribution network

본 논문에서 모델링 한 3상 PWM AC/DC 컨버터의 토폴로지는 그림 3과 같다[8]. 그림 3에서 볼 수 있듯이 컨버터는 입력저항 및 인덕터, 6개의 스위치와 역병렬 다이오드, DC링크 출력 커패시터 등으로 구성된다. 그림 3의 컨버터 회로에서 스위칭 동작으로 인해 형성되는 폐루프에 대한 회로의 전압 방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_s = v_R + v_L + V_a \tag{1}$$

그림 3의 컨버터는 스위치 제어 신호에 따라 입력 전류를 조절함으로써 제어가 이루어진다. 그림 4는 그림 3에 나타난 컨버터 스위치의 제어신호 생성 과정을 나타낸다. 그림 4에서 먼저 출력 전압과 전압 기준 값을 비교하여 전압 오

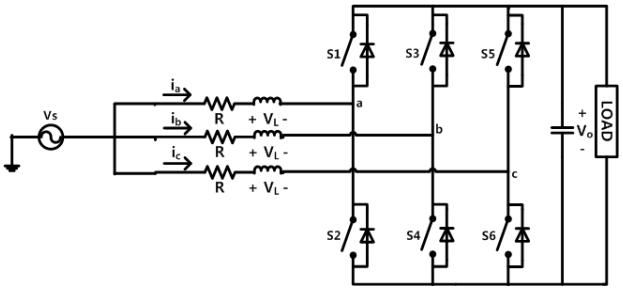


그림 3 3상 PWM AC/DC 컨버터 회로도
Fig. 3 Schematic for 3-phase PWM AC/DC converter

차를 계산한다. 전압 오차 값을 전압 제어기에 입력하여 전류 기준 신호(I_{peak})를 생성한다. 다음으로 앞서 구한 전류 기준 신호에 입력 전압과 동상인 단위 정현파를 곱하여 전류 기준 값을 생성한다. 입력 전류와 전류 기준 값의 오차를 전류 제어기에 입력하여 제어 신호를 생성한다. 마지막으로 전류 제어기를 통하여 얻은 제어 신호와 삼각파를 비교를 통해 스위치 제어 신호를 생성한다.

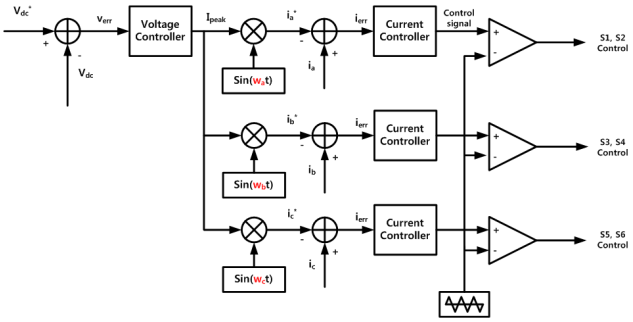


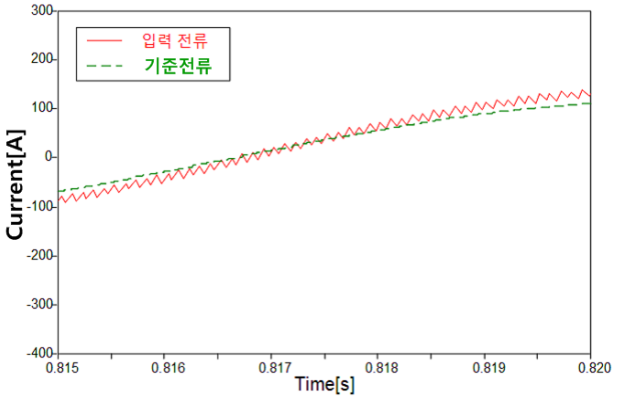
그림 4 컨버터 스위치 제어신호 생성 과정
Fig. 4 Process of generation of control signal for the converter

앞의 과정을 통해 생성된 스위치 제어 신호에 따라 입력 전류를 조절함으로써 컨버터의 출력 전압이 제어된다. 입력 전류가 전류 기준 값보다 큰 경우에는 S1이 더욱 빈번하게 도통되어 입력전류를 줄여주고 반대의 경우에는 S2가 빈번하게 도통되어 입력전류가 증가하게 된다. 아래의 그림 5는 입력 전류와 기준 전류, 스위치 S1 제어 신호를 나타낸다. 그림 5(a)의 중간지점을 기준으로 왼쪽은 기준 전류보다 입력 전류가 작고 오른쪽은 큰 것을 확인할 수 있다. 앞서 설명한대로 스위치 S1 제어 신호를 보면 중간지점을 기준으로 왼쪽보다 오른쪽이 펄스폭이 더 넓은 것을 확인할 수 있다. 즉, S1이 S2보다 빈번하게 도통됨을 의미한다.

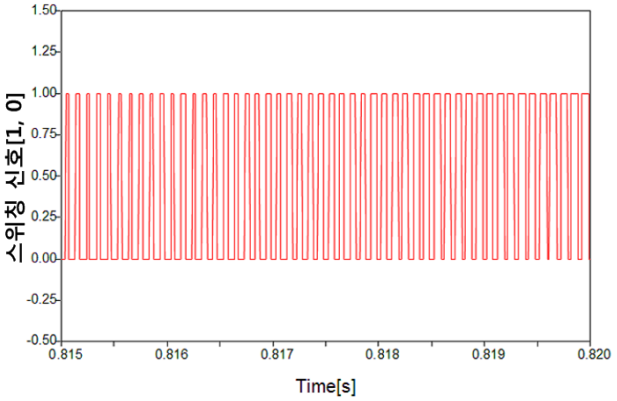
인덕터를 통해 흐르는 입력전류가 증가하고 감소하는 것은 식 (2)를 통해 쉽게 알 수 있다.

$$v_L = L\frac{di_L}{dt} = v_s - v_a \tag{2}$$

인덕터에 걸리는 전압은 입력 전압과 노드 a의 전압의 차와 같다. S1이 도통되는 경우에 $v_a = V_o$이므로 인덕터에는



(a) 입력 전류 및 기준 전류



(b) 스위치 S1 제어 신호

그림 5 AC/DC 컨버터의 입력 전류, 기준 전류 및 스위치 제어 신호

Fig. 5 Input current, current reference and switch control signal of the AC/DC converter

음의 전압이 걸리게 된다. 따라서 식 (2) 및 그림 6에서 확인할 수 있듯이 입력 전류의 기울기가 음이 되고 결국 입력 전류는 감소하게 된다. S2가 도통되는 경우도 S1이 도통되는 경우와 같은 원리로 해석할 수 있다.

본 논문에서 제시된 컨버터는 3상 입력 전류를 제어하기 위해 각 상전압의 위상검출을 이용한 제어방식을 사용하였다[8].

그림 7은 380VAC 입력에 대한 1500VDC 컨버터 출력 전압 파형을 나타낸다. 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있듯이, 모델링 된 컨버터는 주어진 AC 입력에 대해 원하는 DC 전압을 출력하며, 그림 4에서 나타낸 제어 방식으로 인해 출력 전압은 약간의 맥동을 가진다.

3. 접지와 인체안전

전기는 현대인들의 생활에 편리하고 매우 유용하지만 관리가 소홀할 경우 감전사고 또는 산업 활동에 커다란 영향을 주는 정전사고를 일으킬 수 있다. 이러한 위험으로부터 인체 및 기기를 보호하기 위한 수단 중의 하나가 접지이다.

사람의 부주의로 인한 전력선과의 접촉으로 인체는 전기충격을 받을 수 있으며, 이는 심실세동 및 화상 등의 2차적

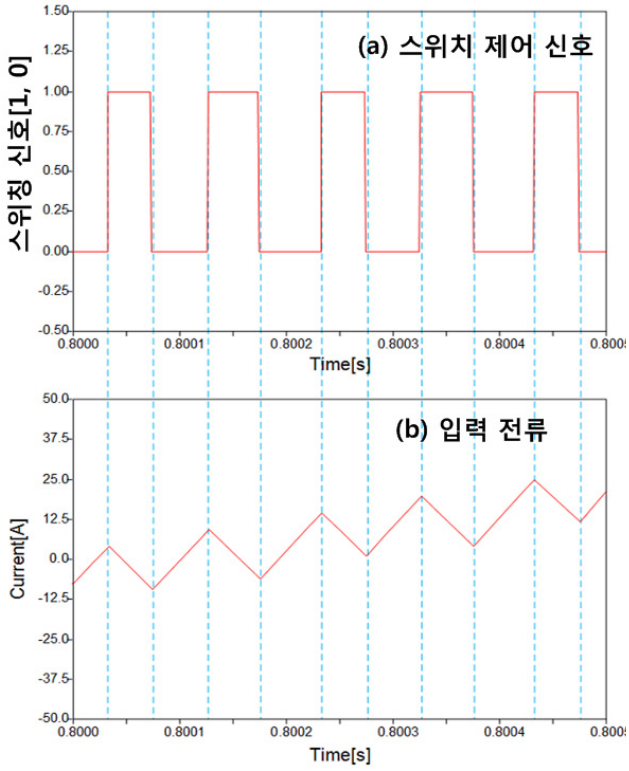


그림 6 스위치 제어 신호에 따른 입력 전류

Fig. 6 Input current according to control signal of switch

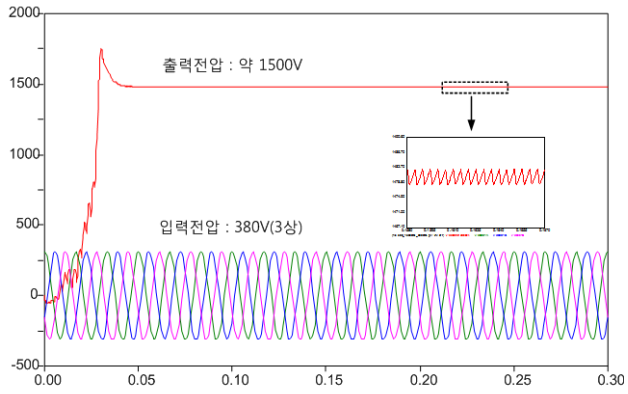


그림 7 AC/DC 컨버터의 입력 및 출력 전압

Fig. 7 Input and output voltage of the AC/DC converter

인 영향으로 이어진다. 아래의 그림 8은 신체에 흐르는 전류와 전류의 지속시간에 따른 단계별 전기 충격을 나타낸다[4]. 보통, 단계 I 및 II에서는 사람이 인지하지 못하거나 고통이 거의 없지만, 단계 III에서는 근육 수축과 호흡 곤란 등의 위험이 있으며 마지막 단계 IV에서는 심실세동과 같은 심각한 영향에 노출되어 심하게는 죽음으로 이어진다. 하지만, 위험하지 않은 단계에서 DC 전류는 AC 전류보다 상대적으로 높은 레벨까지 허용이 가능하며 이는 DC 계통이 안전 측면에서 더욱 좋은 특성을 갖는다고 할 수 있다.

IEC61200-413은 표 1과 같이 인체안전을 위한 규격을 제공하며, 인체에 흐르는 전류에 따른 차단 요구조건을 만족시

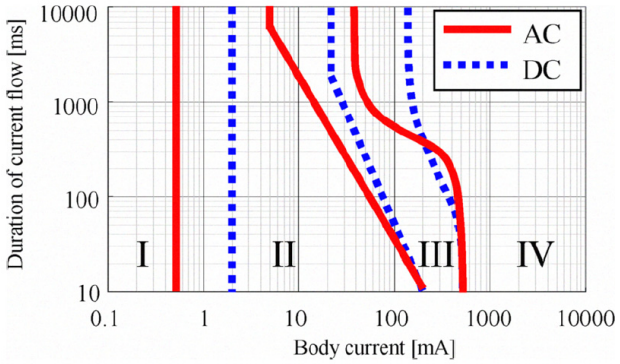


그림 8 신체 전류 및 지속시간에 따른 전기 충격 단계
Fig. 8 Electrical shock stages according to body current and duration of current flow

킴으로써 안전한 계통 운영을 달성할 수 있다[3]. 표 1에 제시된 인체 통전전류는 하향전류 기준이며, 통전전류가 상향전류일 경우 한계치는 절반으로 줄어든다. IEC60947-2는 인체안전과 관련한 차단기의 성능 요구조건을 0.04초로 규정한다. 상향전류 및 하향전류의 정의는 다음과 같다.

표 1 인체통전전류와 차단제한시간과의 관계
Table 1 Relationship between body current and breaking limitation time

접촉전압 [V]	인체 임피던스 [Ω]	인체통전 전류 [mA]	차단 제한시간 [s]
50	1725	29	-
75	1625	46	0.60
100	1600	62	0.40
125	1562	80	0.33
220	1500	147	0.18
300	1460	205	0.12
400	1425	280	0.07
500	1400	350	0.04

- 상향전류 : 정극으로부터 신체의 발과 직접 접촉을 통해 흐르는 전류
- 하향전류 : 부극으로부터 신체의 발과 직접 접촉을 통해 흐르는 전류

4. LVDC 배전계통의 접지방식

국제규격 IEC60364에 따르면, 기존 AC 계통에서의 저압계통 접지방식과 마찬가지로 DC 계통에도 아래와 설명된 것과 같이 TN, TT, IT 방식의 접지가 가능하다.

- TN 접지 : 전원측 계통과 기기 외함을 공통접지
- TT 접지 : 전원측 계통과 기기 외함을 단독접지
- IT 접지 : 전원측 계통은 비접지 혹은 임피던스 접지하며, 기기 외함은 단독접지

본 논문에서는 기기 외함이 접지가 되어있다고 가정하였으며, 전원측 계통 접지방식을 고려한 분석을 수행하였다.

4.1 정(+)극 및 부(-)극 접지

그림 9와 10은 LVDC 배전계통의 정극 및 부극 접지를 나타낸다. 정극 및 부극 접지는 양극성 계통에서 (+)극 혹은 (-)극을 접지하는 방법으로 경우에 따라 인체 감전 시 인체로 흐르는 전류를 줄이기 위해 임피던스를 삽입하는 형태가 될 수도 있다(그림 9(b), 그림 10(b)). 부극 접지의 경우, 금속의 부식을 더 빠르게 유발할 수 있으며, 이는 DC 계통으로 구성된 철도 시스템의 사례에서 확인할 수 있다[10].

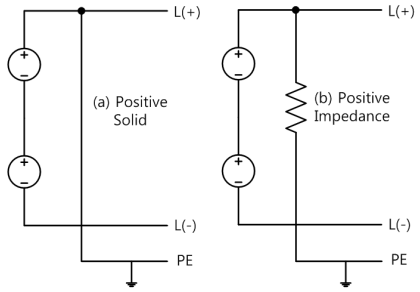


그림 9 정극 접지방식 (a) 직접 접지, (b) 임피던스 접지
Fig. 9 Positive grounding scheme (a) solid, (b) impedance

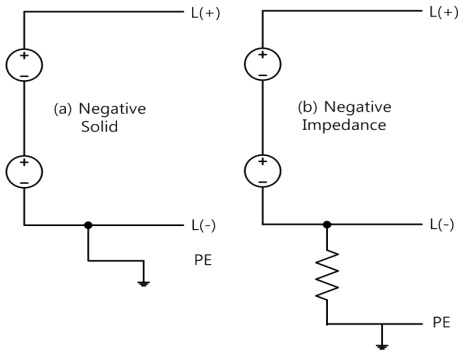


그림 10 부극 접지방식 (a) 직접접지, (b) 임피던스 접지
Fig. 10 Negative grounding scheme (a) solid, (b) impedance

4.2 중간점 접지 및 비접지

그림 11은 중간점 및 비접지방식을 나타낸다. 중간점 접지 또한 직접 접지와 임피던스 접지로 구분 가능하며, 중간점 임피던스 접지의 경우 전원의 중간 탭을 임피던스와 함께 접지하는 방식(그림 9(b))과 병렬로 연결된 고저항의 중간점을 접지하는 방식(그림 9(c))로 나눌 수 있다[9]. 중간점 접지는 대지전압을 절반으로 줄일 수 있다는 장점이 있다. 비접지방식의 경우, 전원측은 어떠한 대지 귀로를 가지지 않으며 인체 감전 시 고장 폐회로를 형성하지 않기 때문에 고장 전류 측면에서 큰 장점을 갖는다.

5. 시뮬레이션

본 논문에서는 LVDC 배전계통의 접지방식에 따른 인체안전 및 계통영향 분석을 위해 간단한 LVDC 배전계통을 구성하였으며, 다양한 모의 조건에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 크게 3가지 측면에서 분석되었다.

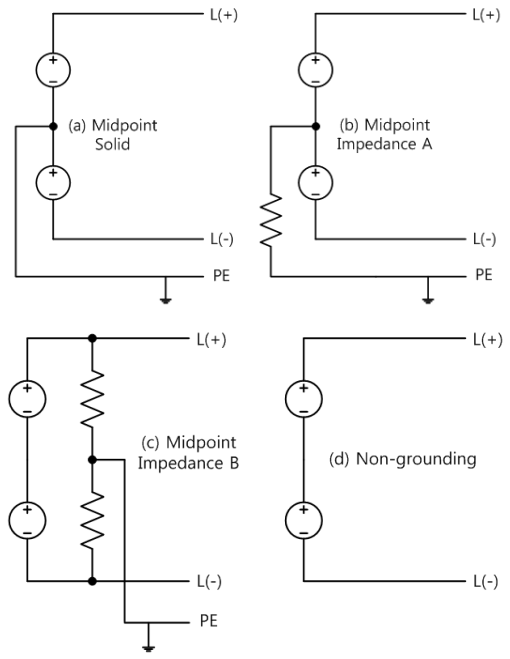


그림 11 중간점 및 비접지방식 (a) 중간점 직접접지, (b) 중간점 임피던스 접지 A, (c) 중간점 임피던스 접지 B, (d) 비접지

Fig. 11 Midpoint and non-grounding scheme (a) solid, (b) impedance A, (c) impedance B, (d) non-grounding

5.1 시뮬레이션 계통

그림 12는 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 계통을 나타낸다. 그림 10에 제시된 LVDC 배전계통은 전력회사로부터 22.9kV/380V AC 전력을 공급받아 AC/DC 및 DC/DC 컨버터를 이용하여 부하에 DC 전력을 공급한다.

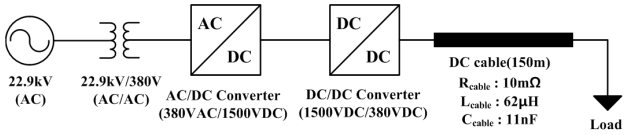


그림 12 LVDC 시뮬레이션 계통

Fig. 12 LVDC Simulation system

5.2 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 다양한 조건에 따른 시뮬레이션 수행을 위해 여러 가지 인체저항 및 부하 측 공칭전압이 고려되었다. 인체저항은 근로환경, 피부의 습도 및 인가전압에 따라 다양하게 변화한다. 따라서 여러 조건에서의 인체 감전 시 인체로 흐르는 전류를 분석하기 위해 다양한 인체저항이 고려되었다. 또한, 현재 LVDC 배전계통의 표준 공칭전압이 확립되지 않았기 때문에, 고려되고 있는 다양한 공칭전압을 적용하여 인체안전 및 계통영향을 분석하였다.

부극 접지방식은 금속의 부식을 유발할 수 있기 때문에 case에서 제외되었으며, 최악의 조건을 고려하기 위해 인체통전전류는 상향전류로 가정하였다. 또한, 시뮬레이션에서 중간점접지 시 임피던스는 정상 운전 시 접지부로 흐르는 전류를 최소화하기 위해 계통 임피던스에 비해 매우 높은 임피던스인 20kΩ을 사용하였으며, 부하는 5Ω으로 가정되었다.

5.3 시뮬레이션 결과 및 분석

5.3.1 인체 통전전류

감전사고에 대비하여 인체의 안전을 보장하기 위해서는 표 1에 제시된 인체통전전류 및 차단 제한시간을 만족해야 한다. 따라서 감전사고 시 인체를 통해 흐르는 전류는 IEC60947-2에서 규정한 인체안전과 관련한 차단기의 성능 요구조건인 0.04초를 기준으로 350[mA]를 초과하지 않아야 한다. 더욱이, 인체 통전전류가 상향전류일 경우는 350[mA]의 절반인 175[mA]를 초과할 수 없다. 이는 IEC 60479-1의 6.4절에서 다루고 있으며, 동물을 통한 실험 및 전기 사고의 통계로부터 도출된 결과이다.

그림 13은 부하 측 공급전압이 380[V]일 때, 인체 저항에 따른 감전사고 시 인체 통전전류를 나타낸다. 그림 13의 결과에 따르면, 정극 직접접지 및 중간점 직접접지의 경우 기준 통전전류 175[mA]를 초과하는 경우가 발생한다. 따라서, 380[V]의 공급전압 레벨에서 직접접지를 사용하는 것은 인체의 안전측면에서 볼 때 적합하지 않으며 직접접지보다는 임피던스접지 및 비접지방식이 더욱 적합하다.

표 2는 공급전압 레벨을 포함한 다양한 시뮬레이션 조건에 따른 인체 통전전류 결과를 나타낸다. 표 2를 통해 공급전압 레벨이 증가함에 따라 인체 통전전류 또한 증가함을 알 수 있으며, 이에 따라 높은 전압 레벨에서의 직접 접지방식은 위험할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러므로 비교적 높은 전압에서 직접 접지 시 감전사고를 대비하기 위해서는 더 높은 차단기 성능 요구조건을 만족해야 한다.

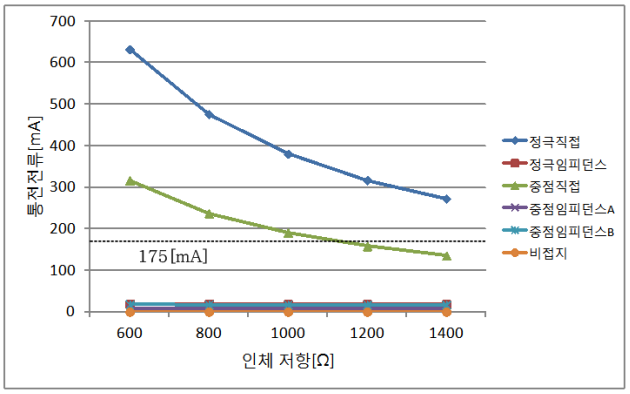


그림 13 인체 저항에 따른 인체 통전전류(380V)

Fig. 13 Body current according to resistances of body(380V)

5.3.2 지락고장 시 모선 과도전압

접지방식에 따른 계통영향을 분석하기 위해 지락 고장 시 모선에서 발생하는 과도전압을 분석하였다. 그림 14는 380V 부하 공급전압에서 (+)극의 지락 고장을 모의한 결과를 나타낸다. 임피던스 접지의 경우 그림 14의 비접지와 동일한 결과를 나타내기 때문에 그래프에서 제외되었다. 그림 12 및 표 3을 통해 알 수 있듯이, 정극 및 중간점 직접접지방식은 지락 고장 시 전압 강하를 포함하는 과도현상을 가지며

표 2 다양한 조건을 고려한 시뮬레이션 결과
Table 2 Simulation results considering various conditions

220V	인체 통전전류[mA]					
인체 저항 [Ω]	정극 직접	정극 임피던스	중간점 직접	중간점 임피던스A	중간점 임피던스B	비접지
600	**370**	10.7	**184**	5.4	10.4	0.001
800	**277**	10.6	138	5.3	10.2	0.001
1000	**221**	10.5	110	5.2	10	0.0005
1200	**185**	10.4	92.3	5.1	9.9	0.0005
1400	158	10.3	79.1	5	9.8	0.0005
380V	**인체 통전전류[mA]**					
인체 저항 [Ω]	정극 직접	정극 임피던스	중간점 직접	중간점 임피던스A	중간점 임피던스B	비접지
600	**632**	18.5	**316**	9.2	17.9	0.002
800	**476**	18.3	**237**	9.1	17.6	0.002
1000	**380**	18.1	**190**	9	17.2	0.001
1200	**317**	18	158	8.9	17	0.001
1400	**272**	17.9	135	8.8	16.7	0.001
750V	**인체 통전전류[mA]**					
인체 저항 [Ω]	정극 직접	정극 임피던스	중간점 직접	중간점 임피던스A	중간점 임피던스B	비접지
600	**1249**	36.4	**619**	18.1	35.3	0.003
800	**941**	36.0	**464**	17.9	34.7	0.003
1000	**751**	35.6	**372**	17.8	33.9	0.001
1200	**626**	35.4	**309**	17.6	33.5	0.001
1400	**537**	35.2	**264**	17.4	32.9	0.001
1500V	**인체 통전전류[mA]**					
인체 저항 [Ω]	정극 직접	정극 임피던스	중간점 직접	중간점 임피던스A	중간점 임피던스B	비접지
600	**2494**	72.5	**1241**	35.9	70.7	0.007
800	**1878**	71.7	**931**	35.5	69.5	0.007
1000	**1499**	70.9	**746**	35.1	67.9	0.003
1200	**1251**	70.5	**620**	34.7	67.1	0.003
1400	**1073**	70.1	**530**	34.4	65.9	0.003

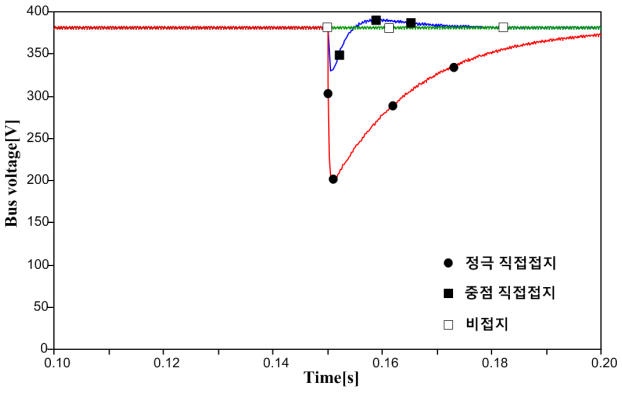


그림 14 접지방식에 따른 지락 고장 시 모선 과도전압(380V)
Fig. 14 Bus transient voltage in grounding fault according to grounding scheme(380V)

전압이 회복되기까지 수십ms 이상의 시간이 걸린다. 반면, 비접지 및 임피던스 접지의 경우 지락 고장에도 불구하고 모선 전압은 정상 전압을 유지하며 안정한 상태를 유지한다. 이를 통해, 모선 전압의 안정성 유지 측면에서 비접지 및 임피던스 접지방식의 장점을 확인할 수 있다.

표 3 접지방식에 따른 지락 고장 시 전압 회복 시간
Table 3 Voltage recovery time in grounding fault according to grounding scheme

지락고장 시 전압 회복시간[ms]						
전압 레벨 [V]	정극 직접	정극 임피던스	중간점 직접	중간점 임피던스A	중간점 임피던스B	비접지
220	83	0.01	28	0.01	0.01	0.01
380	83	0.01	30	0.01	0.01	0.01
750	83	0.01	33	0.01	0.01	0.01
1500	87	0.01	33	0.01	0.01	0.01

5.3.3 고장 검출 및 보호 방식

그림 13과 14를 통해 확인했듯이, 정극 및 중간점 직접접지방식은 감전사고 시 큰 인체 통전전류를 유발하며, 고장 시 모선 전압의 불안정을 야기할 수 있다. 하지만 이 방식들은 큰 전류 및 전압 변동으로 인해 감전 및 고장 검출이 용이하다. 반면, 비접지 및 임피던스 방식은 인체안전 및 모선 전압 안정도 측면에서 장점을 갖지만, 고장 검출이 어렵기 때문에 굉장히 민감한 고장 검출 및 감시 방식이 요구된다.

6. 결 론

본 논문에서는 LVDC 배전계통의 접지방식에 따른 인체 안전 및 계통영향을 분석하였다. LVDC 배전계통에서 사용될 수 있는 다양한 접지방식들이 분석되었으며, EMTP를 이용하여 전력변환기기를 포함한 모의 LVDC 배전계통을 모델링하였다. 또한, 접지방식, 인체 저항 및 부하 공급전압 등을 포함한 다양한 조건들을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과들로부터 알 수 있듯이, 감전사고 시 인체 통전전류를 통해 살펴본 인체안전 측면에서는 비접지 및 임피던스 접지방식이 장점을 가짐을 알 수 있었다. 또한, 지락 고장 시 모선 전압의 안정도를 고려했을 경우에도 인체 안전 측면과 마찬가지로 비접지 및 임피던스 접지가 더 좋은 특성을 나타내었다. 하지만, 고장 검출 및 보호 측면에서는 고장 검출이 어렵다는 점을 통해 비접지 및 임피던스 접지의 단점도 확인할 수 있었다.

각각의 접지방식은 각자의 장·단점을 지닌다. 그러므로 계통에서 적용하고자 하는 접지방식을 선택할 때는 다양한 측면에서의 검토가 요구된다. 특정한 계통 조건에서 가질 수 있는 각각의 접지방식의 검토를 통해 더욱 안전한 계통 운영이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20131010501750)입니다.

References

[1] D. Salomonsson and A. Sannino, “Low-voltage dc distribution system for commercial power systems with sensitive electronic loads,” IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 22, no.3, pp. 1620-1627, Jul. 2007

[2] M. Brenna, G. C. Lazaroiu, E. Tironi, “High Power Quality and DG Integrated Low Voltage dc Distribution System,” in Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting 2006, June 18-22, Montreal, Canada, pp. 6, 2006

[3] Noritake. M, Iino. T, Fukui. A, Hirose. K, Yamasaki. M, "A Study of the Safety of the DC 400V Distribution System," Telecommunications Energy Conference, pp. 1~6, 2009

[4] Hirose. K, Tanaka. T, Babasaki. T, Person. S, Foucault. O, BJSonnenberg, Szpek. M, "Grounding concept considerations and recommendations for 400VDC distribution system," Telecommunications Energy Conference, pp. 1~8, 2011

[5] A. Agustoni, E. Borioli, M. Brenna, Simioli, E. Tironi, G. Ubezio, “LV DC Distribution Network with Distributed Energy Resources: Analysis of Possible Structures”, in Proc. International Conference on Electricity Distribution CIRED, June 6-9 2005, Turin, Italy.

[6] D. Nilsson and A. Sannino, “Efficiency analysis of low- and medium-voltage dc distribution systems,” IEEE PES General Meeting, 2004

[7] P. Salonen, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, J. Partanen, “An LVDC Distribution System Concept”, Proceedings NORPIE 2008 Conference, 2008

[8] M. P. Kazmierkowski, L. Malesani, “Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters : a survey,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 45, no. 5, pp. 691-703, 1998.

[9] The Green Grid, "Issues relating to the Adoption of Higher Voltage Direct Current Power in the Data Center," 2010

[10] Dev Paul, "DC Traction Power System Grounding", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 38, no. 3, MAY/JUNE 2002

저 자 소 개

오 윤 식 (吳 潤 植)

1987년 7월 10일생. 2011년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업. 2013년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : fivebal2@naver.com

한 준 (韓 準)

1986년 2월 7일생. 2011년 순천향대학교 정보통신공학부 졸업. 2013년 성균관대학교 대학원 정보통신공학부 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax: 031-299-4137

E-mail : j3angh@gmail.com

권 기 현 (權 起 賢)

1985년 9월 3일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : elysium03@skku.edu

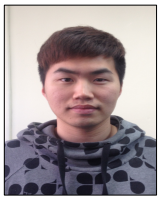
김 두 웅 (金 杜 雄)

1986년 9월 8일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 정보통신공학부 석박통합과정

Tel : 031-299-4630

Fax : 031-299-4137

E-mail : krkic@hanmail.net



노 철 호 (盧 哲 鎬)

1987년 12월 19일생. 2013년 성균관대정보통신공학부 졸업. 2013년~현재 성균관대 정보통신공학부 석박통합과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : chcoo87@naver.com

정 택 현 (鄭 澤 賢)

1988년 07월 01일생. 2013년 성균관대정보통신공학부 졸업. 2013년~현재 성균관대 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-299-4630

Fax : 031-299-4137

E-mail : wjdxorgus123@nate.com

김 철 환 (金 喆 換)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-299-4137

E-mail : hmwkim@hanmail.net