

접지방식에 따른 저압 직류배전계통의 고장특성 분석

(Analysis of Fault Characteristics by the Type of Grounding Scheme in Low Voltage DC Distribution System)

백인호* · 오윤식 · 한 준 · 김두웅 · 권기현 · 김충모 · 김현수 · 김철환**

(In-Ho Baek · Yun-Sik Oh · Joon Han · Doo-Ung Kim · Gi-Hyeon Gwon ·
Chung-Mo Kim · Hyun-Soo Kim · Chul-Hwan Kim)

Abstract

Recently, DC distribution system has come into the spotlight as the number of digital loads and the use of renewable energy increases. However, there are still challenges for the commercialization of DC distribution system such as a consideration for the safety. Thus, researches on protective coordination and grounding system for the safety of human bodies and facilities in Low-Voltage DC (LVDC) distribution system should be preferentially conducted. In this paper, therefore, we analyze characteristics of faults in LVDC system according to type of grounding system based on IEC 60364. Finally, the simulations for fault characteristic in different grounding scheme are conducted using ElectroMagnetic Transient Program(EMTP) and the results of simulation are shown.

Key Words : EMTP, Grounding System, LVDC Distribution System

1. 서 론

미국전력연구원(EPRI)에 따르면 DC전력을 이용하는 디지털 부하의 수는 계속해서 증가하는 추세이며 2020년에는 전체 부하의 50%에 도달할 것으로 전망하고 있다[1]. 교류배전계통에서 디지털 부하를 사용하기 위해서는 전력변환과정이 필요하며 전력변환과

정으로 인해 손실이 발생한다. 따라서 현대에 이르러 전력전자기술의 발달로 직류의 변압이 손쉽게 가능해짐에 따라 변환 효율을 개선할 수 있는 저압 직류기반 배전계통의 구축이 주목받고 있다. 또한 환경문제에 대한 관심이 증가하는 상황에서 전기에너지의 손실을 줄이고 신재생에너지를 보다 효율적으로 이용할 수 있다는 측면에서 저압 직류배전계통은 현재의 교류배전계통을 대체하기 위한 방안으로 대두되고 있다[2].

그러나 저압 직류배전계통의 실제적 운용을 위해서는 이와 관련된 다양한 기술개발 및 적정성 검토가 필요하다. 기존문헌에서는 저압 직류배전계통의 구성 및 운영을 위한 기술개발 항목으로 전압레벨, 전기안전, 고장해석, 안정도, 제어 등 다양한 항목이 존재한

* Main author : Master course, College of Engineering, Sungkyunkwan University
** Corresponding author : Professor, College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University
Tel : 031-290-7124, Fax : 031-299-4137
E-mail : hmwkim@hanmail.net
Received : October 28, 2014
Accepted : December 1, 2014

다고 기술하고 있다. 이 항목들 중 전기안전에 대한 연구를 위해서는 접지시스템에 대한 연구가 필요하다. 접지시스템은 전위의 균등화를 목적으로 시설할 뿐 아니라 낙뢰와 같은 이상전류를 대지로 방류하여 전위상승을 억제하고 전기설비 및 인체의 안전을 확보하는 목적을 갖기 때문이다[3].

따라서 본 논문에서는 저압 직류배전계통을 검토하기 위한 다양한 분야 중의 하나로서 접지시스템에 대해 분석하였다. International Electrotechnical Commission(IEC : 국제 전기표준회의)에서 정의된 저압 직류배전계통의 접지방식(TT계통, TN-S계통, IT계통)을 적용하였으며 접지저항과 고장형태에 따른 고장전류, 인체 접촉전압 및 감전전류를 등가회로를 통해 수식적으로 분석하였다. 또한 ElectroMagnetic Transient Program(EMTP) 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고 수식적으로 분석된 결과를 검증하였다.

2. 저압 직류배전계통의 접지방식

2.1 IEC 60364 접지방식[4]

국제 규격인 IEC 60364에서는 저압 직류배전계통의 접지방식을 규정하고 있다. 규정된 접지방식은 전원측 접지방식과 설비의 외함 접지방식에 따라 TT계통, IT계통, TN-S계통, TN-C계통, TN-C-S계통으로 구분된다. 각 접지방식에 사용된 문자의 의미는 표 1과 같다.

2.1.1 TT계통

그림 1 (a)는 TT계통을 나타낸다. TT계통은 전원측 계통의 한 점을 직접 접지하고 설비의 노출도전부를 전원측 계통의 접지극과는 전기적으로 독립된 접지극에 접속시킨 접지방식이다.

2.1.2 TN계통

TN계통은 전원측 계통의 한 점을 직접 접지하고 설비의 노출도전부를 보호선을 이용하여 전원측 접

표 1. IEC 접지방식에 사용되는 문자의 의미
Table 1. Meaning of the IEC grounding code

제1문자	전력계통과 대지와의 관계
	T : 한점을 대지에 직접 접속
	I : 모든 충전부를 대지와 절연시키거나 임피던스를 통하여 대지에 직접 접속
제2문자	설비의 노출도전부와 대지와의 관계
	T : 노출도전부를 대지로 직접 접속
	N : 노출도전부를 전력계통의 접지점에 직접 접속
제3문자	중간선과 보호도체의 배열
	S : 중간선 및 보호도체의 기능을 별도의 선으로 이용
	C : 중간선 및 보호도체의 기능을 한 개의 선으로 겸용

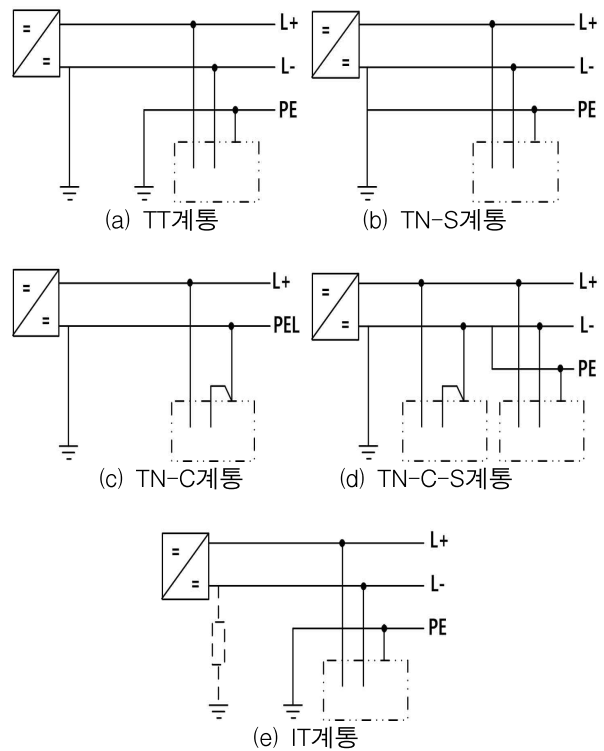


그림 1. IEC 60364 접지계통
Fig. 1. IEC 60364 grounding system

지극에 접속시킨 접지방식이다.

TN계통은 중간선 및 보호선의 배열에 따라 다음과 같이 3가지 종류로 구분되며 그림 1 (b)~(d)는 TN계통을 나타낸다.

- TN-S계통 : 계통 전체에 대해 분리된 보호선을 사용한 접지방식
- TN-C계통 : 계통 전체에 대해 중간선과 보호선의 기능을 단일도체로 결합한 접지방식
- TN-C-S계통 : 계통의 일부분에서 중간선과 보호선의 기능을 단일도체로 결합한 접지방식

2.1.3 IT계통

그림 1 (e)는 IT계통을 나타낸다. IT계통은 전원 측 계통 전체를 접지로부터 절연시키거나 한 점에 높은 임피던스를 삽입해 접지에 접속시키고 설비의 노출 도전부를 단독 혹은 일괄 접지시킨 접지방식이다.

2.2 전원 측 접지방식

기존 교류배전계통의 경우 전원 측 접지방식으로 전력을 공급하는 변압기의 Y결선 중성점을 대지로 접속시키는 방식을 주로 사용하고 있다. 하지만 직류배전계통에서는 변압기 대신 AC/DC 컨버터 혹은 DC/DC 컨버터를 통해 수용가 측에 전력을 공급하기 때문에 컨버터를 이용한 다양한 접지방식들이 저압 직류배전계통에 적용가능하다. 저압 직류배전계통에 적용 가능한 접지방식으로는 양극접지, 음극접지, 중간점 접지방식이 있다.

2.2.1 양극, 음극접지

그림 2 (a)와 (b)는 양극접지와 음극접지를 나타낸다. 이 접지방식들은 직류배전계통의 양극 및 음극선로에 직접 접지 혹은 임피던스 접지를 하는 방식이다. 각 접지방식을 적용할 경우 접지된 선로는 기준 0전위가 되며 나머지 선로는 $\pm V$ 전위가 인가된다.

2.2.2 중간점 접지

그림 2 (c)는 중간점 접지를 나타낸다. 중간점 접지방식은 전원의 중간점을 직접 접지 혹은 임피던스 접

지를 하거나, 컨버터 DC link의 중간점을 접지하는 방식이다. 이 접지방식을 적용할 경우 양극 및 음극선로에는 각각 $\pm V/2$ 가 인가된다.

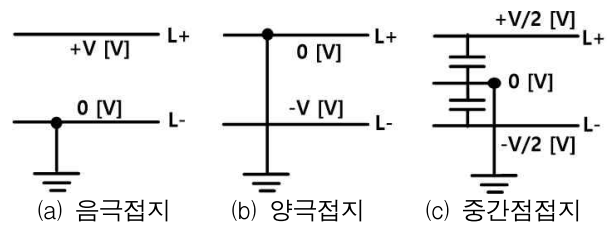


그림 2. 전원 측 접지방식
Fig. 2. Grounding type at the source

2.3 외함 접지방식

전기설비의 외함은 인체가 접촉하기 쉽고 도전성 물질로 이루어져 있기 때문에 기본적인 안전성 확보가 필요하다. 따라서 전기설비의 외함은 반드시 접지되어야 하며 외함을 접지하는 방식은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 그림 3 (a)와 (b)는 전기설비의 외함 접지방식을 나타낸다.

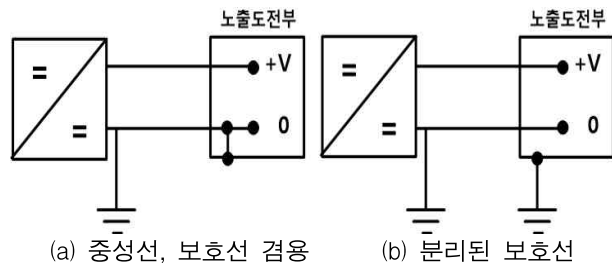


그림 3. 외함 접지방식
Fig. 3. Enclosure grounding type

그림 3 (a)는 외함이 계통의 0전위 선로와 연결되어 접지된 방식을 나타낸다. 이 방식은 선로를 통해 다중 접지를 할 수 있으며, 다중접지를 통해 단락사고에 대한 안전성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 하지만 선로 임피던스의 크기가 외함 임피던스와 비교해서 충분히 작지 않기 때문에 선로에 흐르는 귀로 전류가 부분적으로 외함을 통해 흐를 수 있다는 단점이 있다. 그림 3 (b)는 외함이 독립된 보호도체를 통해 대지와

접지방식에 따른 저압 직류배전계통의 고장특성 분석

접속되는 접지방식을 나타낸다. 이 방식은 선로와 외함의 경로를 차단함으로써 귀로전류가 외함으로 흐르지 않는 장점이 있다. 하지만 선로와 외함 사이의 단락사고 발생 시 외함에 높은 전압 및 전류가 야기되는 단점을 가지고 있다[5].

3. 저압 직류배전계통의 고장 형태

저압 직류배전계통에서 발생할 수 있는 고장은 그림 4 (a)와 (b)에 나타낸 Pole to Ground(PTG) 고장과 Pole to Pole(PTP) 고장이다. PTG 고장은 양극 또는 음극이 대지와 접촉하는 고장이며 가장 빈번하게 발생하는 고장이다. PTP 고장은 양극과 음극선로 사이 또는 하나의 선로와 외함 사이에 단락회로가 형성되었을 때 발생한다[6].

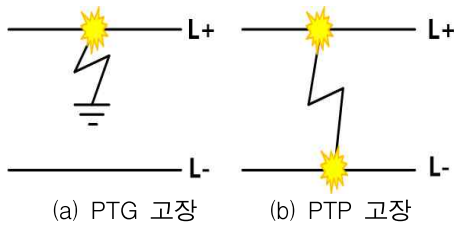


그림 4. 고장 형태
Fig. 4. Fault type

4. 시뮬레이션

접지방식에 따른 고장특성을 분석하기 위해 EMTP 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다양한 조건에 대하여 모의하였으며 고장전류, 접촉전압, 감전전류를 분석하였다.

4.1 시뮬레이션 계통

그림 5는 시뮬레이션을 위한 모의 계통을 나타낸다. 본 연구에서 고려한 모의 계통은 AC전원, 변압기, AC/DC 컨버터, DC/DC컨버터, 부하로 구성된다. 계통에 입력되는 교류전압은 그림 6에 나타낸 3상 SPWM AC/DC 컨버터를 통해 직류 전압 1500V로 변

환된다. AC/DC 컨버터에서 출력된 직류전압은 그림 7에 나타낸 DC/DC 컨버터를 통해 듀티비를 제어하여 380V로 강압된 후 부하에 공급된다. 저압 직류배전계통의 표준전압이 정해지지 않았기 때문에 국내외에서 주로 표준전압으로 고려하고 있는 380V_{DC} 전압을 적용하였다.

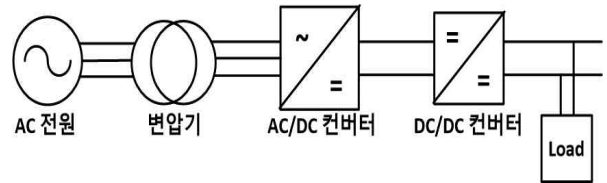


그림 5. 모의 계통
Fig. 5. Test system

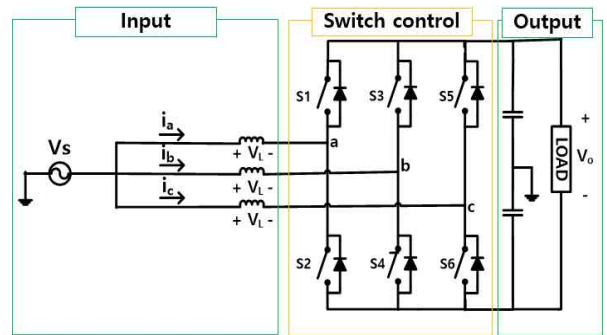


그림 6. 3상 SPWM AC/DC 컨버터
Fig. 6. Three-phase SPWM AC/DC converter

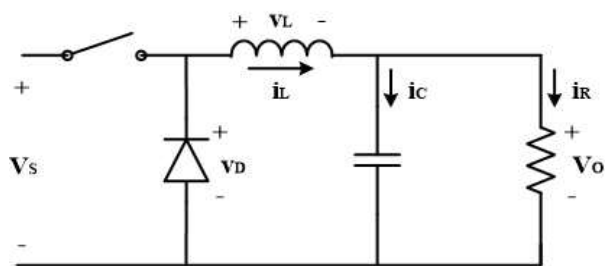


그림 7. DC/DC buck 컨버터
Fig. 7. DC/DC buck converter

4.2 시뮬레이션 조건

접지방식에 따른 저압 직류배전계통의 고장특성을 분석하기 위해 전원 측 접지방식, 접지저항, 고장형태를 변수로 하여 모의를 수행하였으며 각 파라미터의

값은 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameter

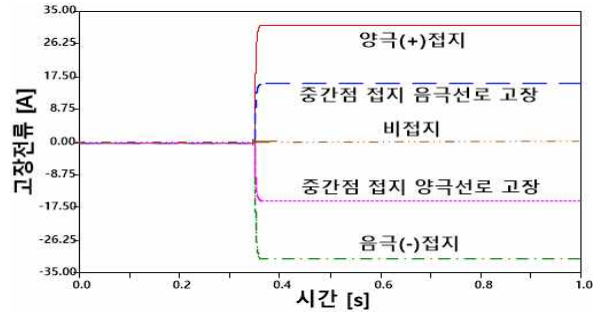
파라미터	값
전원 측 접지방식	양극접지, 음극접지, 중간점접지
접지저항	10Ω, 50Ω, 100Ω, 200Ω
기기 접지저항	10Ω
인체저항	1400Ω
선로 임피던스	0.185Ω/km
부하의 소모전력	3kW(저항성부하)
고장형태	PTG 고장, PTP 고장

4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

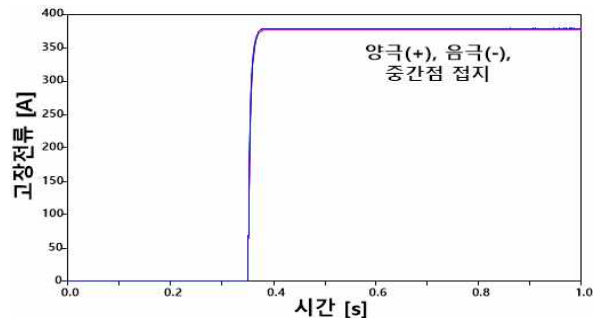
4.3.1 전원 측 접지방식

국제규격 IEC에서 정의한 TT, TN-S, TN-C, IT접지계통에 대해 전원 측 접지방식에 따른 고장전류를 분석하였다.

그림 8 (a)는 선로에서 발생한 PTG 고장으로 인해 고장점에 발생하는 고장전류를 나타낸다. 그림 8 (a)의 결과에 따르면 양극접지와 음극접지는 동일한 크기의 고장전류가 반대방향으로 발생한다. 직류전류는 양극에서 음극까지 단방향으로 흐르기 때문에 접지되는 선로의 극성에 따라 고장루프의 방향이 반대로 형성되기 때문이다. 그림 9 (a)와 (b)는 PTG 고장에 따른 음극접지, 양극접지의 고장루프를 나타내며 접지된 선로의 극성에 따라 고장전류의 방향이 반대 방향으로 형성됨을 확인할 수 있다. 중간점 접지는 선로에 전원 전압의 절반값인 ±190V가 걸리기 때문에 양극, 음극접지의 절반 크기의 고장전류가 발생한다. 그림 9 (c)와 (d)는 PTG 고장에 따른 중간점 접지의 고장루프를 나타내며 중간점 접지의 경우에도 직류전류의 단방향성으로 인해 고장이 발생하는 선로의 극성에 따라 고장전류의 방향이 달라짐을 확인할 수 있다. 또한 비접지 방식의 경우 전원 측은 PTG 고장에 대해 귀로를 갖지 않는다. 따라서 고장전류의 폐회로가 형성되지 않기 때문에 고장전류는 매우 작은 크기로 나타난다.



(a) PTG 고장전류



(b) PTP 고장전류

그림 8. 접지방식에 따른 고장전류

Fig. 8. Fault current according to grounding type

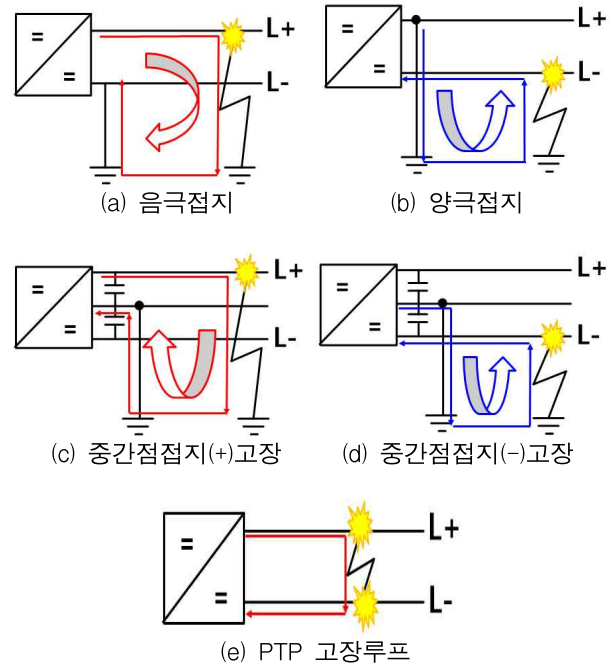


그림 9. 접지방식에 따른 고장루프

Fig. 9. Fault loop according to grounding type

그림 8 (b)는 선로에서 PTP 고장이 발생할 경우 고장점에서 흐르는 고장전류를 나타낸다. PTP 고장은 그림 9 (e)와 같이 접지계통, 전원 측 접지방식에 관계 없이 동일한 고장루프가 형성되기 때문에 모든 조건에서 고장전류의 크기와 방향이 동일하게 발생한다.

IEC 60479에 따르면 인체에서 발생할 수 있는 심실 세동은 동일한 크기의 고장전류일지라도 심장을 통과하는 전류의 방향에 따라 인체에 미치는 영향이 다르다고 규정하고 있다[7]. 따라서 단방향 특성을 가진 직류계통에서는 고장전류의 방향을 고려하여 적절한 전원 측 접지방식을 채택해야 한다.

4.3.2 접지저항

본 절에서는 선로에서 PTP 고장, PTG 고장이 발생했을 때 접지저항에 따른 TT, TN-S, TN-C, IT 접지계통의 고장점에서 발생하는 고장전류를 분석하였다.

표 3은 시뮬레이션을 통해 측정된 접지저항에 따른 고장전류의 크기를 나타낸다. 표 3의 결과에 따르면 PTG 고장이 발생했을 때 접지저항의 크기가 증가할수록 고장전류의 크기는 감소한다. 그 이유는 접지저항의 크기가 증가할수록 PTG 고장의 고장루프 임피던스 크기가 증가하기 때문이다. 이는 PTG 고장에 대한 고장루프 임피던스 및 고장전류를 나타내는 식 (1), (3)을 통해서 확인할 수 있다. 또한 비접지 방식의 경우에는 접지저항이 무한대에 가깝다. 따라서 비접지 방식은 매우 큰 값의 고장루프 임피던스가 형성되기 때문에 고장전류가 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 PTG 고장의 경우 접지저항을 통해 고장전류의 크기를 효과적으로 제한할 수 있다.

$$Z_{LoopPTG} = Z_{L(+)} + Z_F + Z_G + Z_{L(-)} \quad (1)$$

$$Z_{LoopPTP} = Z_{L(+)} + Z_F + Z_{L(-)} \quad (2)$$

$$I_{PTGF} = \frac{380}{Z_{LoopPTG}} = \frac{380}{Z_{L(+)} + Z_F + Z_G + Z_{L(-)}} \quad (3)$$

$$I_{PTPF} = \frac{380}{Z_{LoopPTP}} = \frac{380}{Z_{L(+)} + Z_F + Z_{L(-)}} \quad (4)$$

여기서 $Z_{LoopPTG}$: PTG 고장루프 임피던스

$Z_{LoopPTP}$: PTP 고장루프 임피던스

I_{PTGF} : PTG 고장전류

I_{PTPF} : PTP 고장전류

$Z_{L(+)}$: 양극선로 임피던스

$Z_{L(-)}$: 음극선로 임피던스

Z_F : 고장저항

Z_G : 접지저항

표 3의 결과에 따르면 PTP 고장은 접지저항의 크기에 상관없이 모든 계통에서 동일한 고장전류가 발생한다. 그 이유는 PTP 고장의 고장루프는 그림 9 (e)와 같이 형성되며, 이때 접지저항은 고장루프에 포함되지 않기 때문이다. 이는 PTP 고장루프 임피던스와 고장전류의 크기를 나타내는 식 (2), (4)를 통해서 확인할 수 있다. 식 (2)에서 나타낸 PTP 고장루프 임피던스는 선로 임피던스와 고장저항만으로 구성되기 때문에 PTG 고장과 달리 접지저항의 크기를 통해 고장전류의 크기를 제한할 수 없다.

표 3. 접지저항에 따른 고장전류
Table 3. Fault current according to ground resistance

접지계통	고장종류	접지저항 (Ω)	고장전류 (A)
TT, TN-S, TN-C	PTG	10	31.342
		50	7.302
		100	3.728
		200	1.884
	PTP	10	377.4
		50	377.4
		100	377.4
		200	377.4
IT	PTG	비접지	1.15×10^{-4}
	PTP	비접지	377.4

4.3.3 인체안전

저압 직류배전계통의 접지방식에 따른 인체안전을 분석하기 위해 그림 10과 같이 설비 외함의 절연이 과

피되어 노출 도전성 부분에 전압이 인가되고 인체가 외함에 접촉한 경우를 모의하였다. 표 4는 시뮬레이션을 통해 측정된 접촉전압 및 감전전류를 나타낸다.

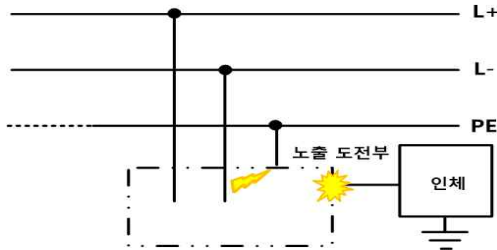


그림 10. 설비 외함의 절연고장
Fig. 10. Dielectric breakdown of enclosure

표 4의 결과에 따르면, 접지저항의 크기가 10Ω에서 200Ω까지 증가함에 따라 TT계통의 경우 접촉전압 및 감전전류가 약 10% 크기까지 감소하였으며, TN-S계통과 TN-C계통은 약 88% 크기로 감소하였다. 따라서 TT계통이 TN계통들에 비해 접지저항의 크기를 이용하여 접촉전압 및 감전전류를 제한하는데 효과적임을 확인할 수 있다. 또한 IT계통은 비접지로 인해 고장루프가 형성되지 않기 때문에 접촉전압 및 감전전류가 거의 발생하지 않는다.

그림 11은 고장이 발생했을 때 TT계통의 등가회로를 나타낸다. TT계통의 전체 임피던스는 선로 임피던스, 보호도체 임피던스, 접지저항 및 인체 임피던스로 구성된다. TT계통의 등가회로를 이용하여 전체 임피던스 및 감전전류를 식으로 표현하면 각각 식 (5), (6)과 같다.

$$Z_t = Z_L + Z_G + \frac{(Z_{PE} + Z_{GT})Z_B}{Z_{PE} + Z_{GT} + Z_B} \quad (5)$$

$$I_b = \frac{380 \times (Z_{PE} + Z_{GT} + Z_B)}{(Z_L + Z_G)(Z_{PE} + Z_{GT} + Z_B) + (Z_{PE} + Z_{GT})Z_B} \quad (6)$$

- 여기서 V : 전원 전압
- Z_t : 전체 임피던스
- Z_L : 선로 임피던스
- Z_{PE} : 보호도체 임피던스
- Z_B : 인체 임피던스

Z_G : 접지저항
 Z_{GT} : 기기외함 접지저항

표 4. 접지방식에 따른 접촉전압 및 감전전류
Table 4. Touch voltage and body current according to grounding type

접지계통	접지저항 (Ω)	접촉전압 (V)	감전전류 (A)
TT	10	187.18	0.134
	50	66.303	0.047
	100	36.676	0.026
	200	19.385	0.014
TN-S	10	161.99	0.115
	50	157.51	0.112
	100	152.28	0.108
	200	142.74	0.101
TN-C	10	377.2	0.269
	50	366.75	0.261
	100	354.56	0.253
	200	332.36	0.237
IT	비접지	5.74×10^{-3}	2.33×10^{-6}

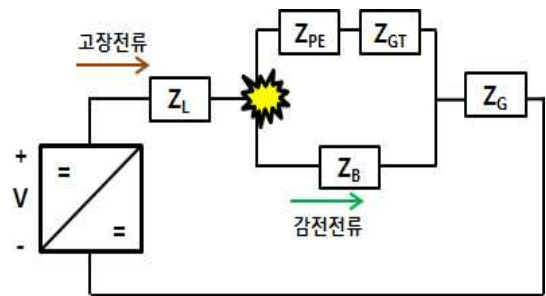


그림 11. 고장 시 TT계통의 등가회로
Fig. 11. Equivalent circuit of TT system during fault

식 (5)에서 접지저항은 다른 임피던스들에 비해 매우 큰 값을 가진다. 따라서 접지저항의 크기가 증가함에 따라 계통의 전체 임피던스의 크기는 증가하고 감전전류의 크기는 감소하게 된다. 접지저항에 따른 감전전류의 크기는 식 (6)을 통해 수식적으로 확인할 수 있다.

접지방식에 따른 저압 직류배전계통의 고장특성 분석

그림 12는 고장이 발생했을 때 TN-S계통의 등가회로를 나타낸다. TN-S계통의 전체 임피던스는 TT계통과 동일한 임피던스들로 구성된다. 하지만 TN-S계통의 경우 접지저항은 인체와 직렬로 연결된 후 보호도체와 병렬로 합성된다.

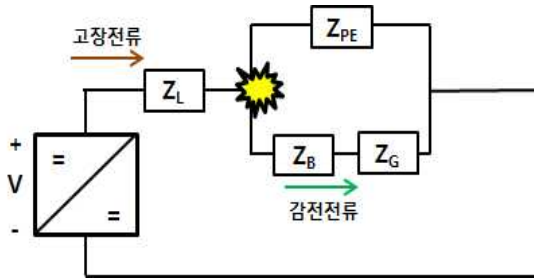


그림 12. 고장 시 TN-S계통의 등가회로
Fig. 12. Equivalent circuit of TN-S system during fault

그림 12에 나타난 등가회로를 이용하여 TN-S계통의 전체 임피던스와 감전전류를 식으로 표현하면 각각 식 (7), (8)과 같다.

$$Z_i = Z_L + \frac{Z_{PE}(Z_B + Z_G)}{Z_{PE} + Z_B + Z_G} \quad (7)$$

$$I_b = \frac{380 \times (Z_{PE} + Z_B + Z_G)}{Z_L(Z_{PE} + Z_B + Z_G) + Z_{PE}(Z_B + Z_G)} \quad (8)$$

TN-S계통의 경우 고장이 발생했을 때 접지저항은 보호도체 임피던스와 병렬로 합성되기 때문에 접지저항이 증가함에 따라 전체 임피던스의 크기는 매우 낮은 비율로 증가한다. 따라서 TN-S계통의 접지저항의 크기는 TT계통만큼 감전전류의 크기를 제한하지 못한다.

그림 13은 고장이 발생했을 때 TN-C계통의 등가회로를 나타낸다. 단극성 TN-C계통은 보호도체와 전원선을 동일한 도체로 사용하기 때문에 부하 임피던스가 고장루프에 포함된다.

TN-C계통의 등가회로를 이용하여 TN-C계통의 전체 임피던스와 감전전류의 크기를 식으로 표현하면 식 (9), (10)과 같다.

$$Z_i = Z_L + \frac{Z_{PE}(Z_B + Z_G)}{Z_{PE} + Z_B + Z_G} \quad (9)$$

$$I_b = \frac{380 \times (Z_{PE} + Z_B + Z_G + Z_{Load})}{Z_L(Z_{PE} + Z_B + Z_G + Z_{Load}) + Z_{PE}(Z_B + Z_G)} \quad (10)$$

단극성 TN-C계통은 보호도체와 전원선을 하나의 도체로 사용하기 때문에 부하에 걸리는 전압의 크기만큼 접촉전압이 발생한다. 따라서 TN-C계통에서 가장 큰 접촉전압과 감전전류가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

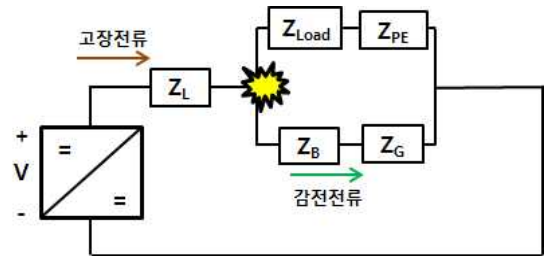


그림 13. 고장 시 TN-C계통의 등가회로
Fig. 13. Equivalent circuit of TN-C system during fault

4장에서 정리한 접지방식에 따른 저압 직류배전계통의 고장특성을 정리하면 표 5, 6과 같다. 표 5와 6의 결과에 따르면, 저압 직류배전계통의 접지방식에 따라

표 5. PTG, PTP 고장에 따른 특성
Table 5. The characteristics of PTG fault and PTP fault

고장형태	전원 측 접지방식	고장전류
PTG	양극접지	반시계 방향의 고장루프가 형성됨
	음극접지	시계 방향의 고장루프가 형성됨
	중간점접지	양극접지의 절반 크기의 고장전류가 발생함
PTP	양극접지	고장전류의 크기가 접지방식의 영향을 받지 않음
	음극접지	
	중간점접지	

계통에서 발생하는 고장에 대해 다양한 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 인체안전 측면에서 TN-C계통이 가장 접촉전압과 감전전류가 크게 발생하였고 IT계통에서 가장 적게 발생하였다. 따라서 안전성을 고려한 저압 수용가 측에서의 접지방식으로는 IT방식이 적합하다.

표 6. 외함의 절연고장에 따른 특성
Table 6. The characteristics of dielectric breakdown of enclosure

고장형태	접지계통	접촉전압, 감전전류
외함의 절연고장	TT	접지저항을 통해 접촉전압과 감전전류의 크기를 감소시키지 못함
	TN-S	감전전류와 접촉전압이 접지저항의 영향을 크게 받지 않음
	TN-C	가장 큰 크기의 접촉전압과 감전전류가 발생함
	IT	매우 작은 크기의 접촉전압과 감전전류가 발생함

5. 결 론

본 논문에서는 접지방식에 따른 저압 직류배전계통의 고장특성에 대해 분석하였다. 전원 측 접지방식 및 접지저항에 따라 고장전류의 크기, 방향을 고려하여 각 접지방식에 대해 등가회로를 유도하고 이를 바탕으로 전체임피던스와 감전전류의 크기를 수식적으로 분석하였다. 또한 각 접지방식별 인체안전에 대해서 EMTP 소프트웨어를 통해 모의하였다.

모의 결과를 통해 알 수 있듯이, 저압 직류배전계통의 접지방식의 경우 동일한 IEC 접지방식을 사용하더라도 전원 측 접지방식, 접지저항에 따라 고장전류의 방향 및 크기가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 계통에 적용할 접지방식을 선택할 때에는 각 접지방식의 고장특성에 대한 분석이 선행되어야 한다. 특히 저압 직류배전계통의 경우 사람이 접근하기 쉬운 계통이기 때문에 인체안전을 고려한 적절한 접지방식이 적용된다면 더욱 안전한 계통운영이 가능할

것이다.

저압 직류배전계통을 구성하면서 접지시스템의 특성을 이해하고 합리적인 설계를 하는 것은 설비와 인명의 안전을 위해 필요한 과제이다. 추후에는 이 연구를 바탕으로 확장시킨 계통에 보호방식을 적용하여 접지시스템의 특성을 분석할 계획이다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No. 20131010501750)입니다.

References

- [1] Navigant Research Report, Direct Current Distribution Networks, 2013.
- [2] K. Engelen, E. Leung Shun, P. Vermeyen, I. Pardon, R. D'Hulst, J. Driesen, R. Belmans, "The Feasibility of Small-Scale Residential DC Distribution Systems," in IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on, pp. 2618~2623, 2006.
- [3] E. Amiri, S.H.H. Sadeghi, R. Moini, "A Probabilistic Approach for Human Safety Evaluation of Grounding Grids in the Transient Regime", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 27, No. 2, pp. 945~952, 2012.
- [4] Low voltage electrical installations-Part 1 : Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, IEC 60364-1, 2005.
- [5] Hirose, K, Tanaka, T, Babasaki, T, Person, S, Foucault, O, BJSonnenberg, Szpek, M, "Grounding concept considerations and recommendations ofr 400VDC distribution system", Telecommunications Energy Conference, pp. 1~8, 2011.
- [6] Jae-Do Park, Candelaria J, "Fault Detection and Isolation in Low Voltage DC-Bus Microgrid System", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol.28, No.2, pp. 779-787, 2013.
- [7] Effect of current on human beings and livestock-Part 1 : General aspects, IEC 60479-1, 2005.
- [8] P. Salonen, T. Kaipia, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, J. Partanen, "An LVDC distribution system concept", in Proc. Nordic Workshop Power Ind. Electron.(NORPIE), pp.A3-1 - A3-16, 2008.
- [9] Bok-Hee Lee, Seung-Chil Lee, "The Major Foundational Technics for Grounding Systems", Uijae Ltd. pp.1-197, 1999.

◇ 저자소개 ◇



백인호(白寅湖)

1988년 6월 15일생. 2013년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2013년~현재 동 대학원 글로벌건설엔지니어링학과 석사과정.



오윤식(吳潤植)

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



한 준(韓 準)

1986년 2월 7일생. 2011년 순천향대 정보통신공학부 졸업. 2013년 성균관대 정보통신대학 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.



김두용(金杜雄)

1986년 9월 8일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 정보통신대학 석·박사통합과정.



권기현(權起賢)

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



김충모(金忠模)

1985년 10월 4일생. 2011년 아주대 전자공학부 졸업. 2013년~현재 성균관대 대학원 글로벌건설엔지니어링학과 석사과정.



김현수(金顯秀)

1982년 11월 5일생. 2005년 충남대 정보통신공학부 졸업. 2013~현재 성균관대 글로벌건설엔지니어링학과 석사과정.



김철환(金喆煥)

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