

이동용 발전기의 접지방식에 관한 연구

조규덕*, 김봉태*, 유인근*
*창원대학교

A Study on the Scheme of Ground Connection for the Mobile Generator

Kyu-Duek Cho*, Bong-Tae Kim*, In-Keun Yu*
*Changwon National University

Abstract - In industrial field, especially the mobile generator is almost used as a islanding generator source for light, electric thrill, and compressor, and so on. However, because there still exists a lot of aged load, it causes the electric shock against person. In this paper authors introduce the proper method to reduce the electric shock in field discussing the scheme of ground connection.

1. 서 론

산업현장, 특히 건설현장에서 사용하고 있는 이동형 발전기의 경우, 독립전원으로서 조명 및 연마기, 전기드릴, 압축기 등의 소규모 부하용 전원으로 주로 사용되고 있는데, 부하설비가 노후되거나 가혹한 조건에 사용되고 있어, 충전부분의 지락, 노출 등으로 인하여 각종 감전 재해가 빈번하게 발생하고 있다. 이동형 발전기 중에서 가장 많이 사용되고 있는 접지방식은 Y결선의 중성점 직접접지방식으로, 이는 발전기 주위에서 보호기기가 없는 채로 지락사고가 난다고 가정하였을 때, 인체를 통하여 대지 - 발전기 중성선으로 귀로가 형성되어 비교적 큰 전류가 흐를 수 있다[1-2]. 또한 발전기가 공사현장에 그대로 노출되어 있고, 운용 및 유지보수 인력의 기술 수준, 작업장 환경의 가변성 등이 상시 존재하기 때문에 적절한 작업환경 지침이 마련되어 시행되지 않는다면 그 위험성은 더욱 증가할 것이다. 이에 따라 간이 저압 전력계통의 전원의 중성점 접지에 대한 적절한 기준과 대책[3-4]에 대하여 정리 하였다.

2. 이동형 발전기의사용 및 접지현황

2.1 이동형 발전기의 사용현황

우리 나라의 산업현장, 특히 건설현장에서 사용하고 있는 이동형 발전기는 380[V]나 440[V]를 주류로 하는 저압형태의 발전기이며, 이 발전기는 3.3[kV] 또는 6.6[kV]로 건물 내부에 설치되어 정전시에 사용되는 비상용 발전기와는 달리 대형전력계통과는 분리되어 운용되는 독립전력계통의 전원으로 사용되고 있다.

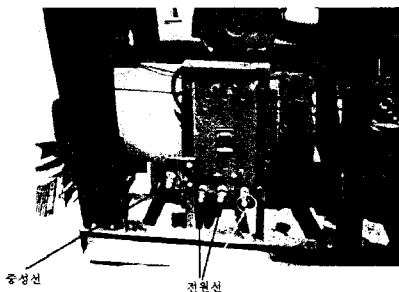


그림 1 이동형 발전기

이러한 이동형 발전기는 단상과 3상의 전원을 모두 사용할 수 있기 때문에 Y결선 발전기가 대부분이며, Δ결선방식을 채용하는 발전기는 전압의 변화가 많이 필요하여 단자가 여러 개(12개 내외)인 특수 목적의 발전기 등을 제외하면 거의 사용되지 않는다. 실제 Y결선의 발전기는 통상 중성점을 접지하여 사용하거나, 발전기의 외함은 접지시키고, 중성점은 외함이나 대지로부터 절연을 한 비접지 방식을 사용할 수도 있다.

2.2 접지관련 규정

이동형 발전기의 접지방식에 관한 기술기준은 우리나라의 산업안전기준에 관한 규칙 또는 전기설비기술기준에 구체적으로 규정되어 있지 않은 상태이며, 해외의 NEC[5], HSE, JIS 등의 기술기준에도 이동형 발전기에 관한 항목은 마련되어 있으나, 중성점 접지방식을 결정할 때 필요한 세부적인 지침은 없는 실정이다.

3. 접지계통 해석

3.1 접지계통에 영향을 미치는 전류

접지계통에 영향을 미치는 접지전류를 분석하기 위해서는 먼저 지락고장 시 발생하는 1선 지락전류의 계산이 전제되어야 한다. 1선 지락전류와 같이 비대칭의 3상회로의 고장해석[6-10]은 비대칭전류를 임의의 가상대칭성분의 조합으로 표현하여 해석하는 기법인 대칭좌표법이 주로 사용되고 있으며 여기서는 그 자세한 수식적 설명은 생략하고 간략히 1선 지락전류를 검토하기로 한다. 그림 2는 1선지락 고장시의 회로도다.

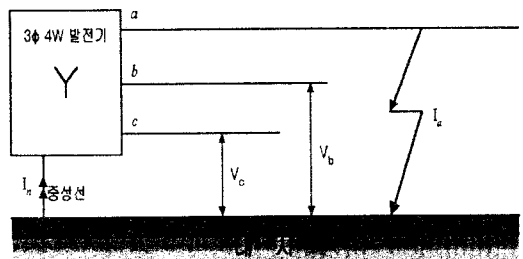


그림 2 1선지락 고장시의 회로도

3상 발전기의 정상, 역상, 영상전압은 다음과 같이

$$\begin{aligned} V_1 &= E_a - I_1 Z_1 \\ V_2 &= -I_2 Z_2 \\ V_0 &= V_a - I_1 Z_1 \end{aligned} \tag{1}$$

로 표현된다. 1선지락고장이 일어났을 때, 계통의 조건은 $V_a=0, I_b=0, I_c=0$ 이므로, 이를 대칭 성분으로 표현하면,

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_0 + V_1 + V_2 = 0 \\
 I_b &= I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 0 \\
 I_c &= I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 0
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

중성점에 흐르는 전류 I_n 은 $3I_0$ 이므로

$$I_n = 3I_0 = \frac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}
 \tag{3}$$

이다. 고장상의 전류 I_a 는

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 3I_0
 \tag{4}$$

가 된다. 따라서, 1선지락 고장시 고장점의 지락전류는 중성점으로부터 유입되는 고장전류와 동일하다.

4. 사례연구

이동형 발전기를 이용한 저압전력계통에서 발생할 수 있는 지락전류의 크기를 인체와 대지저항에 관한 함수로 결정하고, IEEE의 인체회로 모델에 이 지락전류가 흐를 때 인체에 흐르게 될 전류를 계산하였다. 실제 이동형 발전기를 이용하고 있는 건설현장의 대지저항률과, 이동형 발전기의 대지, 외함, 중성선 상호간의 전기적 접속상태를 측정하고, 규정대로 접지하였을 경우와 비정상적으로 접지했을 경우에 발전기 주변에서 지락사고가 일어났을 경우, 인체가 외함에 접촉되었을 경우에 인체에 흐르는 전류를 비교하였다.

4.1 걸보기 대지저항의 현장 측정값과 대지저항률

표 1의 사례 1과 사례 2는 대전, 사례 3은 대구에 위치한 건설현장 부지를 대상으로 하여 측정한 결과이다.

표 1 Wenner 4전극법에 의한 이동형 발전기 사용대지의 걸보기 대지저항 측정값 $[\Omega]$

간격 a(m)	0.5	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30
사례 1	177	81.3	25.6	14.08	10.69	6.38	4.89	4.24	3.01	-	1.58	-
사례 2	210	80.6	26.3	14.36	9.53	6.34	4.86	4.24	3.0	2.06	1.58	1.6
사례 3	56.3	35.7	22.1	11.79	-	4.55	3.78	2.17	0.974	0.607	0.471	0.468

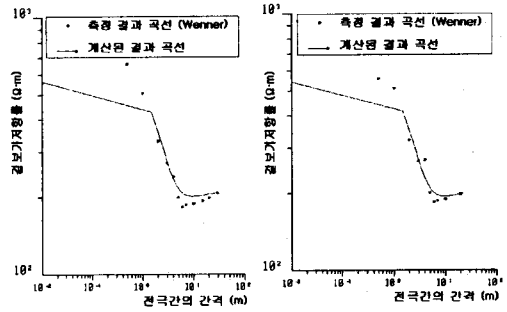
먼저, 표 1의 결과들을 가지고 CDEGS를 이용하여 대지 고유저항률을 계산하였다.

표 2 CDEGS로 추정된 각 층의 대지 파라미터

사례	층수	1층		2층		3층		한사 계수 k_{s2}	한사 계수 k_{s3}
		대지저항률 $[\Omega \cdot m]$	두께 (m)	대지저항률 $[\Omega \cdot m]$	두께 (m)	대지저항률 $[\Omega \cdot m]$	두께 (m)		
사례 1	2	542.045	1.269	178.874	∞	-	-	-0.504	-
사례 2	2	562.208	1.246	185.507	∞	-	-	-0.504	-
사례 3-1	2	228.612	3.095	58.276	∞	-	-	-0.594	-
사례 3-2	3	176.8717	1.514	146.019	2.90	57.6085	∞	-0.096	-0.434

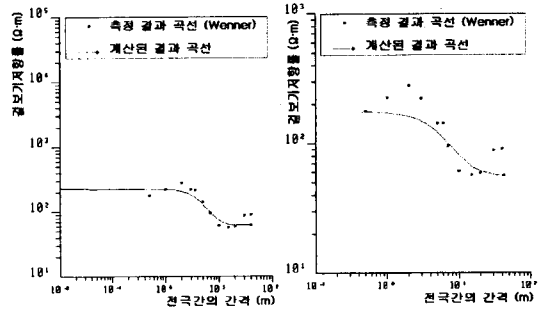
표 2는 계산 프로그램 내에서 표 1의 측정결과를 바탕으로 각 층의 대지파라미터를 계산하고, 계산 결과 곡선

을 추정한 결과를 나타내었다.



(a) 사례 1

(b) 사례 2



(c) 사례 3-1: 2층으로 본 경우 (d) 사례 3-2: 3층으로 본 경우
그림 3 걸보기 대지저항률 측정값

그림 3은 CDEGS RESAP의 출력프로그램의 화면 출력결과이다. 여기서 사례 1과 사례 2는 동일 장소이어서, 측정값들에는 차이가 조금씩 있었으나, 그림에서 선으로 표시한 계산 결과 곡선의 경향은 대체로 일치하였다.

표 3 CDEGS로 추정된 등가대지저항률

등가대지 저항률 $[\Omega \cdot m]$	사례 1	사례 2	사례 3-1	사례 3-2
	184.09	190.82	63.13	64.49

표 3은 CDEGS에서 계산된 대지 파라미터 값들을 이용하여 대지 전체의 등가대지저항률을 구한 결과이다. 토양샘플을 얻을 수 있다면, 토양의 구조를 대략적으로나마 확인할 수 있겠지만, 그렇지 않은 경우에는 2층으로 가정한 경우와 3층으로 가정한 경우를 모두 고려하여 등가대지저항률을 계산한 후 그 값의 차이를 고려해 볼 필요가 있다. 등가대지저항률은 전류가 30(m)의 깊이까지만 침투한다고 가정하여 각 층의 대지저항률을 각 층의 두께에 비례하게 계산한 평균값으로서 각각 2층, 3층으로 고려했을 경우의 수식은 다음과 같다.

$$\rho_{eq(30m)} = \frac{d}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{d-h_1}{\rho_2}} [\Omega \cdot m]
 \tag{5}$$

$$\rho_{eq(30m)} = \frac{d}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{d-(h_1+h_2)}{\rho_3}} [\Omega \cdot m]
 \tag{6}$$

여기서, ρ_n 는 n 층의 대지 고유저항 $[\Omega \cdot m]$ 이고

(참 고 문 헌)

보는 바와 같이 직접접지 방식에 의한 규정대로의 접지공사를 시행했을 경우에는 접촉전압이 109[V]이며, 중성점만 접지하고, 발전기 외함의 접지를 하지 않았을 때는 214[V], 규정값보다 상회하는 형식적인 접지공사를 시행하였을 경우는 88[V]로 나타나고 있는 반면, 비접지 방식을 채택하여 중성점을 접지하지 않았을 경우에는 위험전압이 1[V] 미만으로 계산됨을 알 수 있어서, 비접지 방식이 직접접지 방식보다 위험전압이 낮고, 접지시공을 하지 않아도 되므로, 경제적으로도 우수함을 알 수 있다. 그러나 단일 고장에 대해서 비접지 방식은 중성점과 대지간의 절연만 잘 확보되어 있다면, 외함 접지가 되어있지 않다고 해도, 고장전류가 작고, 접촉전압도 낮아서, 인체에 대하여 심장마비의 위험이 거의 없다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 건설현장에서 사용하고 있는 이동형 발전기와 같은 독립전원에 대하여 충전부분의 지락, 노출 등으로 인한 각종 감전재해의 발생을 막기 위하여, 이동형 발전기 중에서 가장 많이 사용되고 있는 Y 결선의 중성점 직접접지 방식과 비접지 방식을 비교하여 직접접지 방식이 위험전압이나, 인체에 흐르는 전류의 크기로 보았을 때, 인체를 통하여 발전기 중성선으로 귀로가 형성되어 비교적 큰 전류로 감전될 수 있음을 보였다. 이동형 발전기가 사용되는 간이 저압 전력계통에서 가장 가혹한 조건에서의 허용위험전압을 결정하였으며, 사고 조건에 따라 인체의 안전 여부를 판단하여 비접지 방식이 직접접지 방식보다 훨씬 우수한 것으로 나타났다. 이동형 발전기에 대해서 국내 관련 규정이 미흡하며, 규정대로 제3중접지공사 혹은 특별 제3중 접지공사에 의하여 시공할 경우에는, 대지저항률이 높아 원하는 접지저항을 얻기가 실제적으로 매우 어렵다. 뿐만 아니라, 직접접지 방식에 의해서 접지설비를 시공하는 것보다, 비접지 방식을 선택하는 것이 인체에 대한 위험성 측면에서 보다 더 안전함을 사례연구의 결과로부터 도출하였고, 경제적으로도 접지공사비를 절약할 수 있어, 비접지 방식을 채택하는 것이 타당하다는 결론을 얻었다.

- [1] IEEE Std. 142-1991, "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", 1991
- [2] IEEE Std. 242-1975, "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems", 1975
- [3] Dr. Luke Yu, Roy T. Beck, "Evaluation of Electric Hazards in AC Low Voltage Systems", IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference, 1988, Record of Conference Papers, Industrial Applications Society 35th Annual, pp. 213-218, 1988
- [4] J. P. Nelson, P. K. Sen, "High-Resistance Grounding of Low-Voltage Systems: A Standard for the Petroleum and Chemical Industry", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 35 Issue 4, pp. 941-948, July-Aug. 1999
- [5] W. F. Robertson, J. C. Das, "NEC Requirements of Isolated Safety Ground for Medium Voltage Mobile or Portable Equipment in Industrial Environment", Pulp and Paper, 1999, IEEE Industry Technical Conference Record of 1999 Annual, pp. 216-223, 1999
- [6] Irwin Roman, "Some Interpretations of Earth-Resistivity Data", American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Contribution No. 66(Class L, Geophysical Prospecting), March 1934.
- [7] R. W. Moore, "An Empirical Method of Interpretation of Earth Resistivity Measurements", Trans. A. I. M. E., p 197, 1945
- [8] H. E. Barnes, "Soil Investigation Employing a New Method of Layer Value Determination", Bulletin Michigan Highway Department, 1951
- [9] F. Dawalibi, C. J. Blattner, "Earth Resistivity Measurement Interpretation Technique", IEEE PAS, Vol. 103, No. 2, pp. 374-382, Feb. 1984
- [10] Takehiko Takahashi, Taroh Kawase, "Analysis of Apparent Resistivity in a Multi-Layer Earth Structure", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp. 604-612, 1990