

수용가의 변압기 중성점 직접접지 방식과 비접지 방식의 비교

Comparison of Direct Grounding and Non-grounding Methods according to the Power Supply Method for Power Supply to the Consumer Load

박기철^{1*} · 박옥남²Ki-Cheol Park^{1*}, Ok-Nam Park²¹Doctor's Course, Department of Industrial Engineering, Sunmoon University, Asan, Republic of Korea²Doctor, Department of Industrial Engineering, Sunmoon University, Asan, Republic of Korea

*Corresponding author: Ki-Cheol Park, home4891@naver.com

ABSTRACT

Purpose: This study aims to compare the grounding methods of transformers currently used in most industrial sites in Korea to analyze the stability of power quality and the risk of electric shock. **Method:** The ungrounded method allows for continuous power supply even in the event of a single-phase ground fault, resulting in a lower risk of electric shock. In contrast, the solidly grounded method focuses on quickly cutting off power during incidents such as ground faults or lightning strikes to protect load equipment, as explained through literature comparison. **Result and Conclusion:** It is concluded that the ungrounded method is preferable in environments where continuous power supply is essential.

Keywords: Transformers, Grounding Method, Non-grounding Method, Risk of Electric Shock, Lightning Strike

요약

연구목적: 본 연구는 현재 국내 대부분의 산업 현장에서 전원공급을 위해 사용하는 변압기의 접지방식을 비교하여 전원설비의 전원 품질의 안정성과 감전 사고의 위험성을 비교 분석하고자 한다. **연구방법:** 비 접지방식은 1선지락 사고 발생 시 전원공급을 지속적으로 할 수 있고 감전 사고에 대한 위험성이 낮고, 직접접지 방식은 지락이나 낙뢰 등의 사고 발생 시 전원 차단을 빠르게 하여 부하 설비를 보호하는데 중점이 있음을 문헌을 통해 비교 설명하였다. **결과 및 결론:** 지속적인 전원공급이 필요한 곳에서는 비접지 방식을 사용하여야 한다는 필요성에 대해 결론을 내렸다.

핵심용어: 변압기, 직접접지, 비접지, 감전사고, 낙뢰

Received | 17 June, 2024

Revised | 19 August, 2024

Accepted | 23 September, 2024

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

현재 우리나라의 구내 전기설비의 경우 국제규격과의 통일성을 위해 2021년 1월 이후 전기설비기술기준 및 판단기준과 내선규정이 IEC 60364를 근간으로 IEC 62305, 전기설비기술기준 및 판단기준 등 몇몇 가지의 규격을 통합하여 한국전기설비규정(Korea Electro-

technical Code KEC)(National Legal Information Center, 2023)으로 바뀌어 저압의 범위는 직류 1,500[V] 이하, 교류 1,000[V] 이하로 변경되었고, 접지방식도 TN방식(중성선과 보호도체를 공용하는 방식), TT방식(전원과 부하를 따로 접지하는 방식), IT방식(전원은 비접지, 부하는 접지)으로 하는 국제적 접지방식과 같이 통일하여 적용하고 있다. 이는 새로 설계되고 시공되는 경우부터 적용되는 방식으로 봐야 한다. 예를 들면 TN 계통의 접지시스템의 경우 아직 국내에서는 새로운 규정이 낮설어 기존의 설비에서 사용하고 있는 방식(직접접지, 비접지 : Y(스타)결선, Δ(델타)결선)이 적용되고 있어 당분간 현장에서의 혼란이 일어나고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 수용가에서 사용하는 교류 1,000[V] 이하로 사용되는 접지방식을 국내의 전기공학 관련 서적과 논문 등을 참고하여 수용가에서 저압 전원공급 시 직접접지와 비접지 전원공급 방식을 비교하여 사용자의 요구에 맞는 접지방식을 도출하고자 한다. 특히 비접지 방식을 사용하는 이유와 필요성을 설명하고자 한다.

전원공급을 위한 계통접지 방식의 종류 및 특징(Joo, 2017)

중성점 접지방식

중성점 접지방식은 부하설비의 절연설계, 고장구간의 검출을 위한 부하의 안전도 등에 영향을 미친다. 중성점 접지방식은 Fig. 1과 같이 중성점에 설치하는 접지저항의 크기에 따라 직접접지, 저항접지 및 비접지 방식으로 나누어진다.

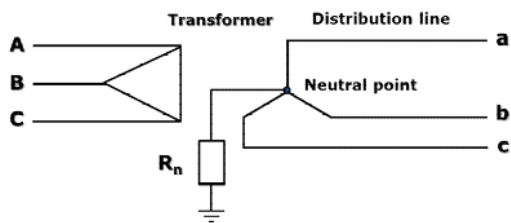


Fig. 1. Neutral point grounding method

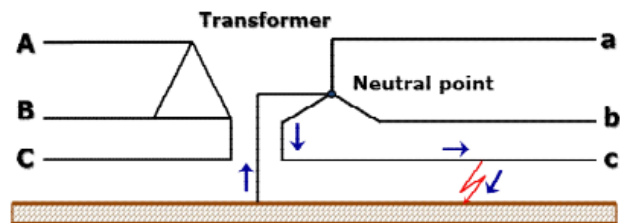


Fig. 2. Direct ground current flow chart

- 직접접지방식($R_n = 0$) : 특고압 계통의 송전선로와 22.9[kV] 배전선로(다중접지) 및 380V/220V 저압계통에 적용
- 저항접지방식($R_0 = R$) : 저항접지 방식과 비접지방식($R_0 = \infty$)은 공장이나 빌딩에서 구내(6.6kV, 3.3kV) 배전 계통에 적용

직접접지방식(Hong, 2022)

직접접지 방식은 배전계통의 변압기 중성점을 금속선으로 직접 접지하는 방식이다. Fig. 2는 1선 지락시의 전류흐름을 나타낸다

직접접지 방식의 장점

- 절연레벨의 경감 : 1선 지락 사고 시 건전상의 대지전위 상승이 거의 없어 각종 기기들의 절연 레벨을 낮출 수 있어 각종 기기의 절연비용을 낮출 수 있어 매우 경제적이다.

- 지락 과전압 계수 = $\frac{1\text{선 지락 시 건전상의 대지전압}}{\text{정격 상전압}} \leq 1.386$ 을 만족하는 접지방식을 유효접지라고 하며, 직접접지방식에서 건전상의 전압이 정격 상전압의 1.386배 또는 선간전압의 80% 이하가 되도록 하는 직접접지방식만이 유효 접지에 해당한다(Hong, 2022). 단, $\frac{R_0}{X_1} \leq 1, 0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 1$
- R_0 : 영상분 저항, X_0 : 영상분 리액턴스 X_1 : 정상분 리액턴스. 이들 값을 산식에 넣어 산출하여 그래프로 표기하면 ($\frac{R_0}{X_1}$ 에 0, 0.5, 1.0, 1.5 $\frac{X_0}{X_1}$ 에 -10~10 범위의 숫자를 대입하여 산출)

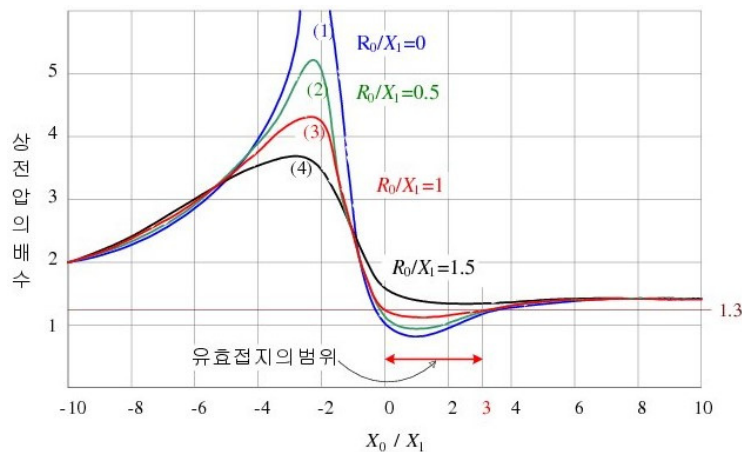


Fig. 3. Results of substituting the input value into the calculation formula

그래프에 나타난 수치가 $\frac{R_0}{X_1} \leq 1, 0 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 1$ 조건에서 유효접지가 성립함을 알 수 있다.

- 변압기의 단절연 가능 : 변압기의 중성점은 직접 접지의 결과로 0전위를 형성하므로 중성점 부근은 절연을 단계적으로 낮게 할 수 있어 변압기의 가격과 중량을 낮출 수 있다.
- 피뢰기의 책무 경감 : 개폐서지의 크기가 작아 정격전압이 낮은 피뢰기 사용이 가능하다.
- 보호계전기의 확실한 동작 : 사고 시 지락전류가 커 고장검출이 확실하고, 고속도 차단이 가능하여 전기설비의 피해를 줄일 수 있다.

직접접지의 단점

- 지락전류가 매우 커서 직렬기기의 손상 위험이 있으므로 빠르게 차단하는 차단기가 필요하다.
- 지락전류가 저역률 대전류로 계통의 안정도가 나빠지고, 통신선 유도장해가 크다.
- 1선 지락 시 전압강하가 심하여 정밀기기의 오동작과 메모리의 손실 등의 위험이 있다(Joo, 2017).

저항접지 방식(Lee, 2003)

1선 지락전류를 억제할 목적으로 변압기의 중성점에 저항을 삽입하여 접지하는 방식으로 삽입하는 저항의 크기에 따라 지락 사고 시 부하 계통에 흐르는 지락전류의 크기가 결정되는데 이때 사고전류는 충전전류의 합과 같거나 충전전류의 3배 이하가 되도록 해야 한다(Joo, 2017). 즉 $I_n \leq 3I_0$ 관계가 되도록 해야 한다. Fig. 4는 저항접지 방식에서의 고장전류 흐름을 나타낸다.

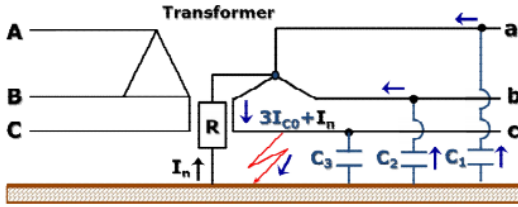


Fig. 4. Direct ground current flow chart

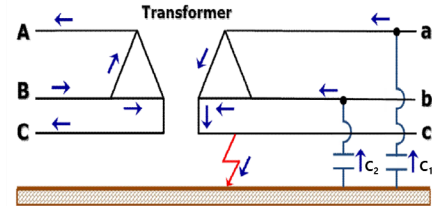


Fig. 5. Non-ground current flow chart

저항접지 방식의 특징

- 직접접지 방식과 비접지방식의 장점을 모두 갖고 있다.
- 접지저항이 부하 계통의 정전 용량의 방전 경로를 구성하므로 과도전압은 소멸, 지락전류의 크기를 제한하므로 고장지점에 대한 손상을 줄일 수 있다.
- 지락과전류계전기(Over Current Ground Relay : OVGR)를 이용하여 지락전류를 차단할 수 있지만 접지저항이 크면 계전기의 감도가 작아져 동작이 곤란하고, 건전 상 대지전위가 상승한다(Lee, 2018).
- 현재 적용되는 보호 방식에는 수용가 구내 배전계통(22.9kV, 6.6kV, 3.3kV)의 중성점 저항접지 방식에서는 1선 지락 시 100A 또는 200A가 흐르도록 통제하고 있다, 예를 들어 100A 저항접지 방식에서 배전전압 6.6kV인 경우의 저항값은

$$\text{중성점 접지저항} : R = \frac{E}{I} = \frac{6.6/\sqrt{3}}{100} = 38.1 [\Omega] \tag{1}$$

비접지방식

비접지 방식은 변압기의 중성점을 접지시키지 않는 방식으로 지락고장 시 지락전류의 회로가 대지 정전용량(C1, C2)으로 형성되어 지락전류가 거의 흐르지 않는다(Fig. 5 참조).

비접지 방식의 특징(Lee, 2008)

- Δ-Δ 결선된 3상 변압기 사용은 충전전류가 적은 단거리 선로 및 낮은 전압 계통에서 사용
- Fig. 5에서 같이 1선 지락고장이 발생하면 건전상의 대지 정전용량에 의한 용량성 리액턴스 값이 커 지락전류는 매우 작아 지락전류가 영점을 통과하는 순간 자연 소멸되어 지속적인 송전이 가능

- Δ-Δ 결선된 단상 변압기 사용 시 변압기의 고장 또는 수리작업의 경우 단상변압기 1대를 들어내고 V결선으로 전환하여 지속적으로 송전 할 수 있다는 장점이 있다(Joo, 2017).
- 이 방식을 케이블로 구성된 장거리 선로에 채용하면 정전용량의 증가로 1선 지락 고장 시 간헐 아크지락으로 6~8배에 이르는 이상전압 발생하며, 그 원인은 계통의 캐패시턴스의 반복충전과 계통 캐패시턴스와 기기의 인덕턴스 간의 공진에 의한 것이다(Lee, 2018).
- 변압기 중성점을 비접지 방식으로 운영하면, 지락전류 I_g 는 선로와 대지 사이의 캐패시턴스 C_0 를 통해서 흐르므로 다음 식에서 얻어진다.

$$I_g = 3I_0 = j3\omega C_0 E = j\sqrt{3}\omega C_0 V \quad (2)$$

- 위의 식(2)에서 구한 지락전류의 크기는 매우 작아서 비접지 방식인 단거리 선로의 경우 일반적인 지락보호 방식의 적용이 어려워 GVT(Grounding Voltage Transformer : 접지형 계기용 변압기)를 이용하여 지락전류를 검출한다.

계통접지방식의 비교(Lee, 2018)

Table 1. a comparative table of grounding methods

구분	직접(다중)접지	저항접지	비접지
중성점 저항	$Z \approx 0$	$Z = R$	$Z \approx \infty$
지락전류의 크기	수십 ~ 수천 [A]	임의조정 (5 ~ 200[A] 정도)	수 [A]이하
1선 지락시 건전상 전위상승	거의 변화 없다 (1.3E 이하)	$\sqrt{3} E$	$\sqrt{3} E$
장 점	- 절연강도 보통(단절연) - 단순한 보호방식(OCGR) - 과도전압 감소	- 작은 고장전류 - 지락보호가 쉽다 - 중간수준 절연강도 - 과도전압 감소	- 지속적인 전원공급 가능 - 고장전류가 작다
단 점	- 전원공급이 중단 - 고장전류가 매우 크다 - 접촉전압이 높아 감전사고 위험이 높다	- 전원공급 중단 - 열적 스트레스 발생	- 과도전압 상승 - 높은 절연강도(전절연) - 지락보호가 어렵다 (GVT+ZCT+SGR)

비접지 방식 사용이 필요한 장소(Lee, 2008)

비접지 방식의 사용 및 주의사항

배전회로에서 비접지 방식을 사용하는 것은 조업상 정전을 피하기 위한 목적이다. 특히 석유화학 공장 등에서는 지락전류가 원인이 되어 폭발성 가스에 인화하여 큰 2차 재해를 유발할 수 있기 때문이다(Lee, 2008).

비접지 회로에서는 1선 지락사고 시 지락전류가 극히 작으므로 그 검출이 용이하지 않고 단지 누전차단기를 설치한 것만으로 충분한 보호 효과를 기대할 수 없으므로 주의해야 한다.

비접지 방식을 사용하는 장소

의료장소의 전기설비를 사용하는 경우 그 기준은 한국전기설비규정(KEC) 제242.10 의료장소에 규정하고 있다.

의료장소(Korea Electric Association, 2024)

의료장소는 의료용 전기기기의 장착부의 사용방법에 따라 구분

- 1) 그룹 1 : 일반병실, 진찰실, 검사실, 처치실, 재활치료실 등 장착부를 사용하지 않는 의료장소
- 2) 그룹 2 : 분만실, MRI실, X선 검사실, 회복실, 구급처치실, 인공투석실, 내시경실 등 장착부를 환자의 신체 외부 또는 심장 부위를 제외한 환자의 신체 내부에 삽입시켜 사용하는 의료장소
- 3) 그룹 3 : 관상동맥질환 처치실(심장카테터실), 심혈관조영실, 중환자실(집중치료실), 마취실, 수술실, 회복실 등 장착부를 환자의 심장 부위에 삽입 또는 접촉시켜 사용하는 의료장소

의료장소별계통접지

- 1) 그룹 0 : TT 계통 또는 TN 계통
- 2) 그룹 1 : TT 계통 또는 TN 계통. 다만, 전원자동차단에 의한 보호가 의료행위에 중대한 지장을 초래할 우려가 있는 의료용 전기기기를 사용하는 회로에는 의료 IT 계통을 적용할 수 있다.
- 3) 그룹 2 : 의료 IT 계통. 다만, 이동식 X-레이 장치, 정격출력이 5 kVA 이상인 대형 기기용 회로, 생명유지 장치가 아닌 일반 의료용 전기기기에 전력을 공급하는 회로 등에는 TT 계통 또는 TN 계통을 적용할 수 있다.
- 4) 의료장소에 TN 계통을 적용할 때에는 주배전반 이후의 부하 계통에서는 TN-C 계통으로 시설하지 말 것.

장치산업의 저압 전로

장치산업의 특징

- 1) 장치산업은 초기 투자비용이 크고, 대량생산을 통해 높은 효율성을 달성
- 2) 주요산업 : 반도체, 석유정제, 석유화학, 제철, 자동차 산업
- 3) 전원공급 중단 시 경제적 피해
 - 가. 삼성전자 화재로 공급중단 피해로 약 500억원 손실-2020. 1. 1.(한국경제)
 - 나. 포항제철 태풍 힌남노로 인한 피해 약 1조7천억원-2022. 9. 7.(연합뉴스)

장치산업의 배전계통 비접지 선로 사용 이유(Lee, 2008)

- 가. 전원공급에 의한 경제적 피해가 매우 크다.
- 나. 제품 생산 공정이 연속식으로 일부공정의 사고가 전체공정으로 확대 된다.
- 다. 전력설비 자동제어 감시시스템을 사용하여 각종 설비의 사전 진단.

UPS(무정전 전원장치) 보호(Hong, 2022)

무정전 보호장치 2차측 보호

- 1) 무정전 전원장치 2차측은 1선 지락이 발생해도 지락전류가 작아 지속적 운전이 가능한 비접지 방식 채택
- 2) 전원차단시 부하공급이 차단되므로 경보를 사용하여 고장을 알린다.

결론

본 논문은 구내 22.9kV-Y 배전계통에서 가장 많이 사용하는 중성점을 접지하는 방식과 22.9kV-Δ 비접지의 특징을 비교하여 설명하였다. 어느 방식이 가장 좋다는 설명보다는 각각의 접지방식을 비교하고, 사용하는 부하의 용도에 따라 선택할 수 있다. 우리나라의 전력품질은 세계에서 가장 높은 것으로 알려져 있어 각종 데이터 센터를 국내에 구축하려고 하는 실정으로 그중에서도 정전은 거의 발생하지 않고 있는 것으로 알려져 있다.

Table 2. Average annual power outage time (Korea Power Exchang, 2014)

연도	호당 정전시간(분/호)								
	전원측			배전측			계		
	고장	작업	계	고장	작업	계	고장	작업	계
2013	1.29	0.00	1.29	3.78	6.46	10.24	5.02	6.46	11.53
2012	1.40	0.00	1.40	3.98	6.70	10.68	5.38	6.70	12.08
2011	1.45	0.00	1.45	4.25	6.70	10.95	5.70	6.70	12.40
2010	1.60	0.00	1.60	4.85	8.70	13.55	6.45	8.70	15.15
2009	1.61	0.00	1.61	4.88	9.10	13.98	6.49	9.10	15.59

현재 우리 주변을 살펴봐도 전력계통의 문제로 정전이 되면 회사에서는 거의 대부분의 업무가 중단되고, 개인적으로는 사용하고 있는 휴대용 장비(휴대폰, 게임기 등)의 사용이 중지되어 답답하다는 것은 경험으로도 느낄 수 있으며, 산업 현장에서 전기로 인한 정전이 발생하면 그 손실은 경제적 피해보다 그 외의 피해가 더욱 크다는 것은 잘 알려진 사실이다. 따라서 배전계통에서 접지, 비접지의 선택은 안전성, 경제성, 사용의 편의성, 고장보호 등을 고려하여 선택 사용해야 한다.

비접지를 사용하는 장치산업에서 전기설비를 운영, 유지관리 및 보수를 위해서 필요한 지식을 충분히 습득하고, 충분한 경험을 가진 기술자가 필요하다. 특히 비접지에서 사용하는 델타결선 변압기에서 고전압 혼촉 방지를 위해 1선을 접지하는 경우 접지되지 않은 두 선으로 단상 전등 부하를 공급하면 누전 및 감전이 우려되니 항상 절연감시 장치를 설치하여 이상시 경보를 울리거나 표시장치를 통해 알려야 한다.

우리나라는 주로 중성점을 접지하는 방식을 사용하는 데 이는 비접지 방식은 고장전류가 작아 검출이 어려운 단점이 있기 때문이다. 그러나 최근에는 검출을 위한 접지형 계기용 변압기의 성능이 매우 향상 되었고, 감도 또한 매우 정확한 검출이 가능하여 1선 지락 고장 시에도 전원공급이 가능한 비접지 방식을 사용하여 감전의 위험을 낮추며, 고장 시 차단으로 인한 경제적 손실 최소화를 기할 수 있는 비접지 방식을 사용함이 필요하다 할 수 있다.

References

- [1] Hong, J. (2022), New Architectural Electrical Equipment. Volum 1, Yeamoonsa, p. 45.
- [2] Hong, J. (2022). New Architectural Electrical Equipment. Volum 2, Yeamoonsa, pp. 255-246.
- [3] IEEE (1992). 142-1991- IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. in IEEE Std 142-1991, US.
- [4] Joo, J.H. (2017). A Method of Determining the Ground Fault Protection System for Premises Distribution System. Master Degree, Department of Electrical Engineering and Computer Science Graduate School, Chungbuk National University.
- [5] Korea Electric Association (2024). KEC(Korea Electro-technical Code) 242.10.1~10.2, Seoul.
- [6] Korea Power Exchange (2014). Information on the Electricity Market, Naju.
- [7] Lee, J.-W. (2008). Shipping and Distribution Technician. Volum 1, Taeyoungbook, pp. 584-585.
- [8] Lee, M.-h. (2018). A Study on the Potential Rise and Impact on Lightning Arrester by Transformer and Grid Falt. Doctoral Thesis, Seoul National Univercity of Science and Technology
- [9] Lee, S.W. (2003). Grounding of Power System and Protective System for Line Ground Falts. Volum 2. Gidari, p 12.
- [10] National Legal Information Center (2023). Notification No. 2023-875 of the Ministry of Trade, Industry and Energy.
- [11] Oh, y.-t., Chang, w.-b. (2019). "A study on the improvement of the grounding method of the temporary distribution panel in apartment construction site." Journal of The Korean Society of Disaster Information, Vol. 2019, No. 09, pp. 231-232.
- [12] Son, s.-h. (2021). "A study on the effectiveness of ground resistance measurement method." The Korean Society of Disaster Information Conference, Vol. 2021 No.11, pp. 277-278.