

# 비접지계통 태양광발전설비 GVT 소손 방지 대책을 통한 화재예방과 사고보호

박양권\*

\*한국전기안전공사

e-mail:deepon@hanmail.net

## Fire Prevention and Accident Protection through GVT Damage Prevention Measures for Non-Ground System Photovoltaic Power Plants

Yang-Kwon Park\*

### 요 약

최근 태양광발전(Solar power generation)은 장기적인 관점에서 경제적 이점을 제공하지만 초기 설치비용이 고비용이고 운영 및 유지관리 비용은 상대적으로 적은 편이다. 태양광발전은 연료비용이 거의 없어서 운영비용이 아주 낮고 장기적 수익성을 높일 수 있다. 또한 정부의 재정 지원 및 감면 프로그램으로 인해 추가적인 경제적 장점을 얻을 수 있다. 그러나 태양광발전은 안개, 구름, 폭풍, 비, 눈 등 날씨 조건에 매우 민감하여 발전생산의 감소, 기술적 결함이나 장비 고장으로 인해 생기는 유지보수 비용은 예상치 못한 경제적 부담을 초래한다. 본 논문에서는 태양광 발전의 태양 에너지를 전기 에너지로 변환하는 과정으로 태양 전지판은 태양광을 집중시켜 전기를 생산하는 주요 장치이고 이러한 시스템은 태양의 강도와 방향에 따라 변동되는 발전량을 기록하게 된다. 여기서 변압기 결선 Y- $\Delta$  비접지계통의 태양광발전설비에서 AC계통의 지락보호를 위해 설치한 GVT가 소손되는 사고가 다수 발생과 원인이 무엇인지 파악하고 그에 대한 개선 대책 수립을 통해 태양광발전의 탄소 배출을 크게 줄일 수 있는 친환경적인 에너지 생산방법으로 기후 변화를 완화하는데 기여하며, 지구환경 보호에 긍정적인 영향뿐만 아니라 지속 가능한 에너지 공급을 제공하고자 한다. 특히 비접지계통 태양광발전설비 GVT 소손 방지 대책을 통한 화재예방과 사고보호를 목적으로 한다.

### 1. 서론

### 2. 본론

변압기 결선 방식 중 Y- $\Delta$  비접지계통의 GVT와 무변압기 인버터 방식에서 GVT 소손 현상이 다수 발생되고 있으며 원인 파악과 대책을 통한 현장 개선 없이 설비를 계속 운영하여 고장보호 불능 상태가 지속적으로 방치되고 있으며 화재발생이 우려되고 있는 실정이다. 접지형변압계전기(GVT, Grounding voltage transformer)는 비접지계인 3상 전원 회로에서 (배전선 등) 지락 (누전) 을 검출하기 위한 전용 계기용변압기(VT, voltage transformer)로도 사용할 수 있도록 2차 측과 3차 측이 설치되어 있어, 3차 측에 오픈델타 접속을 하여 영상 전압을 검출할 수 있다. 지락을 검출하기 위해 접속되는 계기에는 고속 응답, 최대값 유지 등의 기능이 요구된다.

본 논문에서는 작업자의 착각, 충전부 접촉 사고 발생 등 안전사고 및 복잡하고 다양한 전기설비 작업환경에서의 인적에러의 근원적 사고 예방과 현장 업무 시 전기안전관리자, 설계·감리자, 시공업자 등의 전기재해 및 유사현상 발생 때 예방 활동에 효과적인 활용 할 수 있어 유용성을 확인하였다.

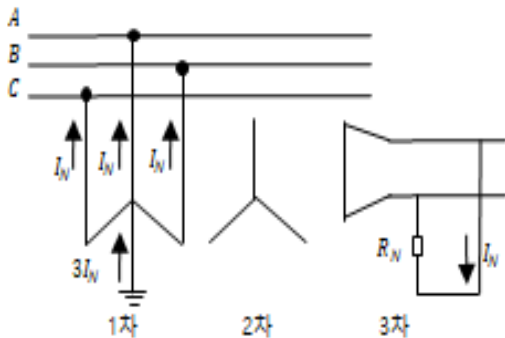
#### 2.1 중성점 접지

중성점접지의 목적은 지락고장시 건전상의 대지 전위상승 억제, 전선로 및 기기의 절연 레벨을 낮출 수 있고 서지, 지락 등에 의한 이상전압 발생을 억제한다. 지락고장시 접지계전기의 확실한 동작을 가능케 하며 소호리액터 접지방식에선 1선 지락시의 아크 지락을 재빨리 소멸시켜 그대로 송전을 유지시켜주는 역할을 한다. 중성점 접지의 종류는 직접접지, 비접지, 저항접지, 리액턴스 접지로 대별된다. 여기서 중성점을 접지하지 않는 방식인 비접지방식은 변압기 2차측이 델타(Delta,  $\Delta$ )결선으로 구성되며 실제로는 대지간 커패시턴스에 의해 접지가 되었다고 판단한다. 지락발생시 지락전류는 충전전류와 GVT를 통한 유효전류 정도이기 때문에 상당히 낮출 수 있다. 비접지 방식은 노출도전부에 누전 발생시 감전위험이 낮고 접지서리를 생략하므로 비용이 절감되는 장점이 있지만 정상운전에 따른 스위칭 시 과전압 발생으로 절연과피를 발생시키고 1선 지락발생 시 직접접지에 비해서 73% 이상 전위가 상승, 장거리의 경우 선로의 충전용량이 커져서 감

전사고가 발생할 수 있다. 3.3kV 계통은 비접지 방식을 채용하고 GVT와 ZCT를 조합하여 비접지계통의 배전선 지락사고를 검출하여 사고회로만을 선택 차단하는 선택지락계전기(SGR, selective ground relay)로 지락보호, 영상전압(또는 일정 방향의 영상전류)을 기준으로 지락고장전류 크기 및 방향이 일정 범위 안에 있을 때 동작하는 계전기로 루프 계통의 지락 사고보호용으로 사용되는 방향성지락계전기(DGR, directional ground relay)가 있다. 그리고 GVT와 연결하여 지락사고시 발생하는 영상전압이 크기에 의해 동작하는 지락과전압계전기(OVGR, over voltage ground relay), CT에 연결하여 지락 사고 시 지락전류의 크기에 의해 동작하는 과전류지락계전기(OCGR, over current ground relay) 등이 있다.

### 2.2 접지형 계기용 변압기

보호계전기용의 계기용 변압기는 그 사용목적에 따라 비접지형과 접지형으로 상수에 따라 단상과 삼상으로 분류된다. 전력계통에서 계기용 변압기의 접속은 그곳에 사용되는 보호계전회로나 계측회로나 밀접하게 관련되어 있다. GVT는 일반적으로 3상 선로에서 지락사고시 영상전압을 검출하여 지락전압계전기(OVGR)와 동시에 지락방향계전기(SGR, DGR)가 동시에 동작할 수 있을 정도의 지락전류(영상 유효분)를 흘려주기 위하여 사용하는 것을 말한다. GVT 1차 접지측으로 지락전류(영상전류)가 유입되면, 3차에서 전자유도법칙에 따라 영상전압이 나타나면(지락사고 및 영상분 고조파 전류가 유입)계전기를 동작시키며 결선도는 그림 1과 같다.

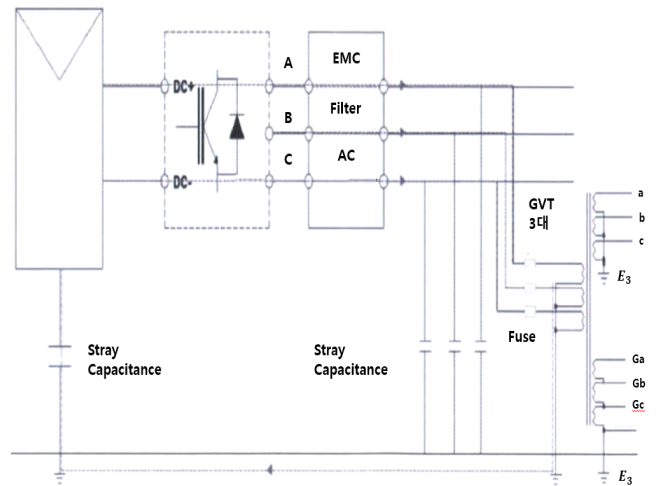


[그림 1] GVT 결선도

계기용 변압기의 접속에는 V접속, Y접속, Δ접속, Open delta 접속 등이 있고 사용목적에 맞는 2차 또는 3차 전압을 얻기 위해 구분 사용된다. 1차권선은 Y결선으로 접속되고 그 중성점을 접지한다. 2차측은 Y로 접속되어 정상전압을 빼내고, 3차권선은 오픈델타로 접속되어 영상전압을 빼낸다. 정격 3차전압은 110/3 V 또는 190/3 V이고 완전 1선 지락 시에 오픈델타의 개방 단자에 나타나는 정격영상 3차전압은 110 V 또는 190 V이다 [1].

### 2.3 GVT 소손 원인

Y-Δ 비접지계통 + GVT + 무변압기 인버터 방식 중 2021년 9월 1일 이전 인버터 내부 DC지락 차단장치 설치 의무화 이전 설비를 대상으로 한다. 여기서 GVT 소손 원인은 DC, AC계통의 고조파와 상용주파가 중첩되어 발생한 누설전류가 대지정전용량을 통해 GVT 중성점으로 흐르고 GVT 중성점을 통해 흐르는 누설전류가 지속적으로 영상전압 발생시키고, 누설전류에 포함된 고조파로 인해 GVT가 포화 소손된다. 그림 2는 대지정전용량에 의한 누설전류, 그림 3은 현장 GVT 소손을 나타낸다.



[그림 2] 대지정전용량에 의한 누설전류



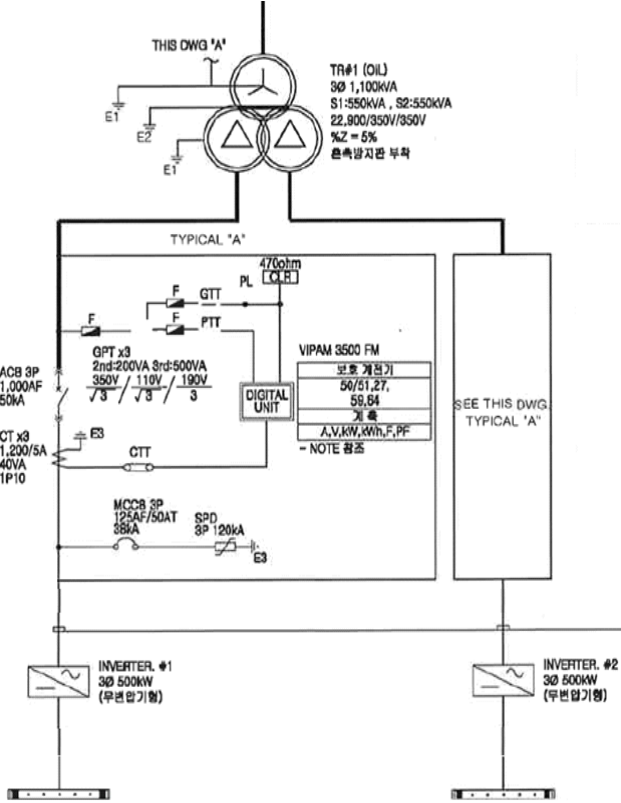
[그림 3] GVT 소손

### 2.4 GVT 소손 대책 1

GVT 3차측에 설치된 CLR의 저항을 크게 하여 중성점을 통해 흐르는 지락(누설)전류의 크기를 줄고 SGR 구동을 위해 필요한 GVT 중성점 지락(누설)전류의 크기(일반적으로 380mA)가 중요치 않으므로 CLR의 저항을 크게 하여 GVT 중성점에 흐르는 전류의 크기를 감소시킬 수 있다. 또한 한류저항기(CLR, current limit resistor)의 저항을 크게 하더라도 OVGR을 동작시키기 위한 영상전압의 크기는 큰 변화 없음을 확인하였다. 여기서 CLR의 목적은 SGR, DGR, OVGR 사용 시 GVT에 사용되는 역하로 지락방향계전기를 동작시키

는데 필요한 유효전류를 발생시키고 GVT 3차 오픈델타 결선 회로의 각 상전압 중 제3고조파 발생 분을 흡수하며 비접지 회로의 중성점이상 전위 진동, 중성점 불안정 이상 현상을 억제하는데 있다 [2].

그림 4는 변압기 Y-△결선에 비접지계통에 GVT 설치하고 전력변환장치 무변압기 방식을 나타낸다.



[그림 4] Y-△ 비접지계통+GVT+전력변환장치(무변압기 방식)

CLR 용량과 영상전압 크기의 상관관계식으로 CLR 크기에 따른 영상전압 크기를 비교하면 다음과 같다.

$$V_0 = \frac{Z_0}{Z_0 + 3R_g} \times E, \quad Z_0 = \frac{3R_n}{1 + j\omega C \cdot 3R_n} \quad (\text{식1})$$

식 1의  $V_0$ 는 영상전압,  $Z_0$ 는 영상분임피던스,  $3R_g$ 는 지락점 저항,  $E$ 는 상전압,  $R_n$ 은 CLR 상당 1차 환산저항이며 그림 4를 기준으로 CLR 저항을 두 배로 했을 경우 영상전압의 크기를 비교(단, 지락점저항과 커패시턴스는 동일 조건이므로 동일하다고 가정)를 나타낸다.

$$R_n = \frac{\left(\frac{350}{110}\right)^2 \times 470}{9} = 528.7\Omega \quad (\text{식2})$$

$$Z_0 = \frac{3 \times 528.7}{1 + (1 \times 3 \times 528.7)} = 0.9994$$

$$V_0 = \frac{0.9994}{0.9994 + (3 \times 1)} \times 63.5 = 15.86$$

식 2는 CLR 저항 479Ω일 경우  $V_0$ 를 나타내며 479Ω을 1차로 환산하면 다음과 같다. 여기서 JVC는 1로 가정,  $R_g$ 는 1로 가정한다.

식 3은 CLR 저항 958Ω일 경우  $V_0$ 를 나타내며 958Ω을 1차로 환산하면 다음과 같다. 여기서 JVC는 1로 가정,  $R_g$ 는 1로 가정한다.

$$R_n = \frac{\left(\frac{350}{110}\right)^2 \times 958}{9} = 1077.64\Omega \quad (\text{식3})$$

$$Z_0 = \frac{3 \times 1077.64}{1 + (1 \times 3 \times 1077.64)} = 0.9997$$

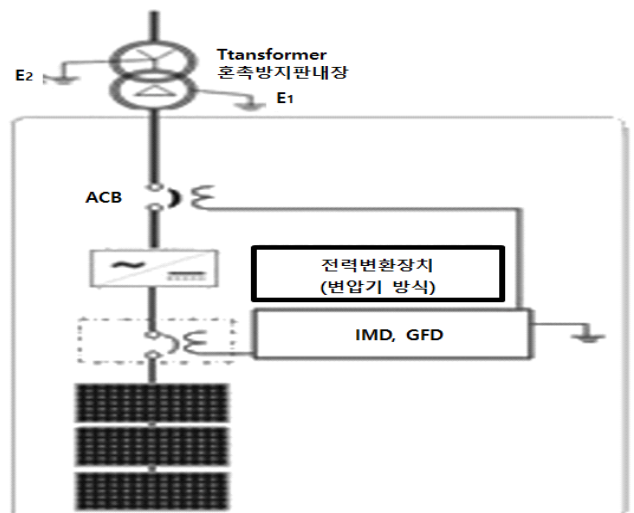
$$V_0 = \frac{0.9997}{0.9997 + (3 \times 1)} \times 63.5 = 15.87$$

따라서 CLR 크기를 2배로 하더라도 영상 전압의 크기는 차이가 없음을 확인하였다.

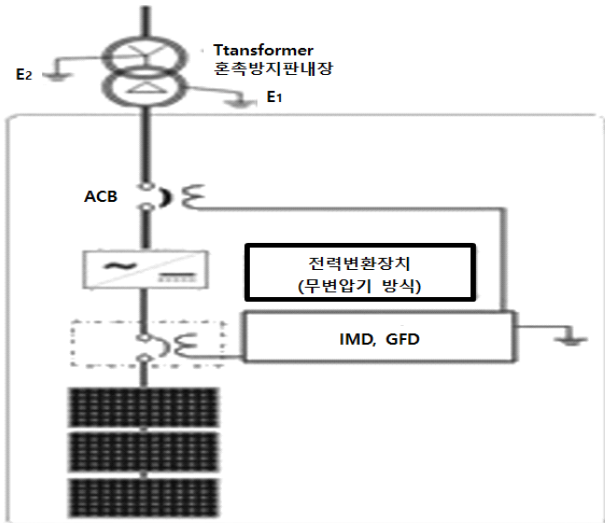
### 2.5 GVT 소손 대책 2

Y-△결선 비접지계통, GVT, INT 무변압기 방식(2021년 9월 1일 이후 인버터 내부 DC지락 차단장치 설치 설비)의 GVT 소손 원인 2.3 GVT 소손의 원인과 같다. GVT의 소손에 의한 대책은 인버터가 무변압기 방식이므로 인버터 내에 설치된 지락차단장치에서 DC계통뿐만 아니라 AC계통 지락까지 검출하여 인버터 기동정지를 통해 보호, 따라서 AC계통 지락차단을 위한 GVT회로 구성이 불필요하므로 사전기술 검토 및 검사 처리 시 적용 개선하여야 한다.

그림 5는 Y-△결선 비접지계통, GVT, 전력변환장치(변압기 기형), 그림 6은 Y-△결선 비접지계통, GVT, 전력변환장치(무변압기 방식)를 나타낸다 [3].



[그림 5] Y-△ 비접지계통+GVT+전력변환장치(변압기 방식)



[그림 6] Y-Δ 비접지계통+GVT+전력변환장치(무변압기 방식)

### 3. 결론

태양광 발전을 통한 상용발전설비의 회로 구성은 KEPCO의 분산형전원연계기술기준에 따라 그 기준이 복잡하고 특고압 계통 구성이 일반 수전설비와 많은 차이가 있다. 따라서 사전 기술검토 등의 도면 검토 시에 각별한 주의가 필요하며 발전 설비 구성에 알맞게 계통을 합리적이고 안전하게 설계하고 검토하여야 한다. 또한 안전사고 및 복잡하고 다양한 전기설비 작업환경에서의 인적에러의 근원적 사고 예방과 현장 업무 시 전기안전관리자, 설계·감리자, 시공업자 등의 전기재해 및 유사현상 발생 때도 예방 활동과 교육에 효과적인 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] 전기안전인재개발원, “보호계전전문”, 현장맞춤형, pp. 123-127, 2020년
- [2] KESCO, “2024년 신재생발전설비”, 업무처리방법, 제 1권 1호, pp. 81-89, 12월, 2023
- [3] KEPCO, “분산형 배전계통 연계 기술기준”, pp. 13-28, 08월, 2018