creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265533

2016年 2月 碩士學位論文 태양광 발전설비의 접지시스템에 관한 연구

2016 年 2月
工學碩士學位論文

태양광 발전설비의 접지시스템에 관한 연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

文 鉉 喆

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양광 발전설비의 접지시스템에 관한 연구

A Study on the Grounding System of Photovoltaics Equipment

2016年 2月 25日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

文 鉉 喆

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양광 발전설비의 접지시스템에 관한 연구

指導敎授 金 南 勳

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2015年 10月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

文 鉉 喆

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

文鉉喆의 碩士學位 論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校　敎授　李愚宣 印

委　員　朝鮮大學校　敎授　崔孝祥 印

委　員　朝鮮大學校　敎授　金南勳 印

2015年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT

Ⅰ. 서 론 1

Ⅱ. 이론적 고찰 2

1. 태양광 발전설비 2
2. 태양광 발전설비의 구성 3
3. 태양광발전 시스템 7

Ⅲ. 태양광 발전설비의 등가 대지저항 11

1. 대지 저항률 11
2. 태양광 발전설비 접지저항 15

Ⅳ. 접지설계 검토 및 분석 18

1. 접지의 검토 18
2. 접지시스템의 진단기법 23
3. 접지저항 측정분석 31

Ⅴ. 결 론 35

【참고문헌】

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

표 1 토양의 종류에 따른 저항률 ····· 13
표 2 지역의 대지 저항율 ····· 13
표 3 토양별 함수량 변화에 따른 접지저항값 ····· 14
표 4 전기설비기술기준에서 정한 접지공사의 종류 ····· 15

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

그림 1 모듈제작 순서 ····· 2
그림 2 태양광 발전설비의 일반적 구성 ····· 3
그림 3 태양광 발전설비의 종류 ····· 7
그림 4 역조류가 있는 시스템 ····· 8
그림 5 역조류가 없는 시스템 ····· 9
그림 6 계통연계형 태양광 발전설비의 구성 ····· 9
그림 7 독립형 태양광 발전설비 구성도 ····· 10
그림 8 대지 고유저항의 정의 ····· 11
그림 9 전국 대지고유저항 분포도 ····· 12
그림 10 접지저항 측정 ····· 16
그림 11 보조전극간 전위간섭이 없는 경우 전위분포 패턴 ····· 17
그림 12 주접지전극과 전류보조전극간의 전위간섭이 없는 경우 전위분포 특성 ····· 17
그림 13 IEC의 접지기호 ····· 18
그림 14 접지저항 ····· 19
그림 15 대지로 방사되는 전류 ····· 20
그림 16 접지저항 기본설계 흐름도 ····· 22
그림 17 접지전극의 전압과 주파수별 등가회로 ····· 23
그림 18 모의등가회로 ····· 24
그림 19 전위강하법에 의한 접지저항의 측정 ····· 25
그림 20 61.8%의 법칙 ····· 27
그림 21 P전극을 C전극의 반대측에 타설하는 경우 ····· 27
그림 22 P전극을 각도 Θ방향으로 타설하는 경우 ····· 29
그림 23 측정값을 무시할 수 있는 전위극 P의 배치 ····· 31
그림 24 전류차에 의한 접지전극의 전위상승 변화 ····· 31
그림 25 전류보조전극이 가까운 위치의 접지저항 측정회로도 ····· 32
그림 26 전류보조전극이 가까운 위치의 전위간섭 영향 ····· 32
그림 27 전위간섭 영향에 의한 접지 저항값의 변화 패턴 ····· 33
그림 28 반구상 접지저항값 ····· 33

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on the Grounding System of Photovoltaics Equipment

Moon, Hyun Cheol
Advisor : Prof. Nam Hoon Kim, Ph.D.
Electrical Engineering Technology Convergence
Industrial Technology Convergence
Graduate School of Chosun University

In this paper, we measure the ground resistance of solar power, would like to propose a standardized measurement techniques. Therefore, we have studied the principles and domestic, measurement techniques that have been applied to the outside of the ground measurements. Investigate the application problem in the field, it is attempted to secure a variety of measurement techniques. And discuss the ground to date, actually ground noise signal and ground resistance in the field, which has been in operation, such as the circuit of the wiring configuration were measured and analyzed. Based on the results of the analysis to study the grounding system capable of removing a noise signal. Field installation of the grounding system can be constructed in consideration of the connection position with the internal wiring, to confirm the performance by comparing the construction. It was also re-measured ground noise signal during equipment operational states in order to confirm the effect of improving the post-construction. By comparing the measurement result of the improvement before and after the noise signal, and finally we check the performance of the protective equipment.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 서 론

최근 전력수급 경보발령 등의 전력난은 국가차원의 위기다. 대다수의 사람들이 전력수급에 관한 것에 많은 관심을 가지고 있다. 대용량의 발전이 가능한 원자력발전은 안전사고나 폐기물처리에 어려움이 있고, 화력발전소는 연료의 한계와 환경유해물질의 배출에 따른 지구온난화와 같은 문제로 인해 발전소 건설에 어려움이 있다. 이로 인해 태양광 발전설비에 대한 관심과 수요는 빠르게 증가하는 추세다. 태양광 발전설비는 무한정, 무공해의 태양 에너지를 전기에너지로 변환시키는 시스템이다. 태양광 발전설비는 필요한 용량만큼 직렬 또는 병렬로 연결하며, 모듈을 다양한 기후에 견디도록 재료와 구조를 선정하여 제품화 한다. 태양을 이용하면 무한정, 무공해의 에너지가 이용가능 하므로 연료비가 필요 없을 뿐더러 대기오염과 폐기물 발생이 없고 기계적인 진동과 소음 또한 없다. 근래에 태양광 발전설비의 설치 현황은 가정용의 소규모에서 대형 그리드형태로 전환되고 있고 매우 높은 비율로 증가하고 있다. 대부분의 발전설비는 계통연계 형으로 설치, 운용되고 있다. 태양광 발전모듈의 대형화는 시스템 안전성이 확보 되어야하고 사고방지를 위해 접지전극을 대형화해서 구성해야 한다. 태양광 발전설비가 주로 설치되는 산악지역에서 접지저항의 안정화를 위해 메시공법, 보링공법, 봉형 등 다양한 형태의 대형 접지전극을 시공하고 있다. 대형 태양광 발전시스템의 접지저항측정은 기존에 사용하던 측정기법을 적용하기 위해서는 현실적인 많은 어려움이 뒤따른다.[1][2]

본 논문에서는 태양광 발전설비의 접지저항을 측정하고 표준화된 측정기법을 제안하고자 접지측정에 대한 원리와 국내, 국외에 적용되고 있는 측정기법에 대해 검토하고자 한다. 국내, 국외에 적용된 국내의 전기설비기술기준 및 내선규정, 산업안전기준 등과 국외의 ANSI, JIS, IEC, IEEE 등의 현장에 적용되는 기준들을 분석하여 현장에서의 적용 문제점을 조사하여 다양한 측정기법을 확보하고자 했다. 따라서 노이즈에 대한 개요 및 현재까지 접지에 대해서 고찰하고 실제 운용되고 있는 현장에서 접지 노이즈 신호 및 접지저항, 배선 구성회로 등을 측정 분석하여 분석된 결과를 토대로 노이즈 신호를 제거 가능한 접지 시스템을 연구하고자 한다. 노이즈 전류나 간섭신호 제거용 접지시스템의 설계를 위해 토양 분석은 4점-웨너법으로 실측된 데이터를 다지층 구조로 분석해 정량적 대지저항률의 값을 얻었다. 접지시스템 현장 설치는 내부의 배선과 접속할 위치를 고려해 시공하여, 시공 결과를 비교해 성능을 확인하고자 한다. 또 시공 후의 개선효과를 확인하기 위하여 설비의 운용상태 중에 접지노이즈 신호를 다시 측정해 개선 전후 노이즈신호의 측정결과를 비교해 보호설비의 표준화된 측정기법의 타당성을 입증하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 이론적 고찰

1. 태양광 발전설비

태양광 발전은 반도체에 태양을 투사하여 원자핵에 구속된 전자들을 자유전자로 만들어 외부로 흐르게 하는 간단한 원리다. 즉 전자가 발생하고 그 후에 발생한 전자를 외부 회로로 내보내 전기를 유도하는 과정이다. 고체 내부에 많은 전자가 존재하고 있는데 원자핵에 구속된 전자와 이 내부 격자들 사이에서 자유롭게 움직이고 있는 자유전자로 구분되는데, 이때 자유전자가 전기의 흐름을 담당한다. 반도체에 빛을 비추면 “속박 전자”가 태양에너지를 받아서 자유전자 상태로 된다. 이 자유전자들을 외부회로에 전달하기 위해서 필요한 것이 반도체 p-n접합이다. p-n접합은 p형 반도체와 n형 반도체를 붙여서 제작한다. 그림 1은 모듈제작 과정을 나타내고 있다. 접합 부분에서 전기장이 발생하며 이것은 접합 부분에서 양극과 음극을 띤 부분이 생긴다는 것을 의미한다. 극성을 띄기 때문에 자유전자들은 n형 쪽으로 끌리게 된다. 태양광을 반도체에 쪼이면 자유전자가 생기고 자유전자들은 n-형 쪽으로 끌리게 된다. 따라서 n-형 쪽에 자유전자가 계속 쌓인다. 반도체에 전선이 연결되면 전자가 전선을 통해 외부로 빠져나가려고 하는 작용으로 도선을 따라 전자가 흐르게 되며 이것을 우리는 전기를 얻었다라고 말한다. 이것을 이용하여 에너지를 얻는 예로 태양전지를 들 수 있다. 태양전지를 이용한 발전을 이루기 위해서는 태양에서 투사되는 빛으로부터 시작된다.

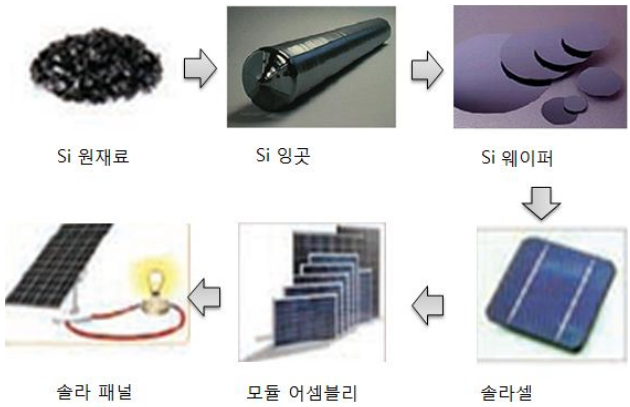


그림 2 모듈제작 순서

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

태양에서 투사되는 빛은 직사광과 산란광으로 이루어 졌다. 태양에서 직접 지표에 도달하는 빛을 직사광이라 하며 구름이나 지표, 건물 등에 반사되어 투사되는 빛을 산란광이라 부른다. 태양전지의 장점은 직사광이든 산란광이든 발전할 수 있다. 맑은 날은 많이 발전이 되고, 흐린 날에도 나름 발전할 수 있다는 점이 있어 우리나라와 같이 구름이 많은 기후에서도 충분히 활용할 수 있다. 태양전지에 의해 발전되는 전류는 직류기 때문에 부하가 교류전류를 필요로 할 때는 직류를 교류로 변환시켜주는 인버터가 필요하다. 또 태양전지에 의해 발전된 에너지를 야간에 이용할 경우에는 낮에 생산한 에너지를 저장하는 시스템이 필요하다. 전기의 저장은 축전지를 이용하여 이루어진다. 하지만 장시간 태양전지를 작동하지 않는 경우에 보조발전기가 필요한 경우도 있다.

태양광 발전설비는 크게 독립형과 계통연계형으로 나누어진다. 독립형 시스템은 바닷가의 등대나 섬과 같은 전력시설이 미비한 지역에서 사용되고 있으며 현재 가장 많이 사용되고 있다. 그리고 전기를 저장하는 설비가 필수이기 때문에 대용량의 축전지를 사용한다. 계통연계시스템의 태양광 발전은 전력회사에서 공급하는 전기와 같은 방식이다. 밤이나 태양광이 부족한 시기에는 발전이 일어나지 않아 전력계통으로부터 공급을 받고 태양광 발전 전력이 남는 경우에는 전력계통에 흘려보내는 방식이다. 일반적인 태양광 발전은 광 반도체의 모듈을 제작하고 외부회로를 연결하여 이루어진다.

2. 태양광 발전설비의 구성

태양광 발전 설비의 구성은 태양전지 모듈, 전력변환장치, 인버터 등으로 이루어지고, 다음 그림 2와 같이 구성된다.

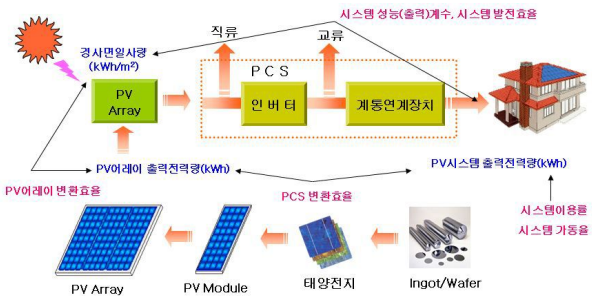


그림 3 태양광 발전설비의 일반적 구성

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1 태양전지

태양에서 방출한 복사에너지를 광기전력 효과를 이용해 전기에너지로 변환하는 반도체이며 광전변환소자로 제작된다. 태양광 발전설비의 구성요소 중 핵심이며 보편적으로 사용되는 태양전지는 p-n접합을 이용한 태양전지이다.

현재 태양전지 시장 규모의 95%이상을 차지한 단결정 실리콘태양전지는 실리콘을 가공하여 제조하는 형태이며 평균 약 15~22%의 효율이 발생하는 것으로 보고되고 있다.[5]

2.2 태양전지 모듈

하나의 셀로부터 나오는 전압은 약 0.5V 정도로 매우 낮다. 그렇기 때문에 태양전지를 여러 개의 직·병렬로 연결하여 수 ~ 수백 V 이상이 얻어지도록 만든 것을 태양전지 모듈이라고 한다. 장기간에 걸쳐서 자연환경으로부터 셀을 보호하기 위한 목적으로 내후성 패키지에 수납하여 패널모양으로 조합되고 있다.

2.3 태양전지 어레이

태양광 모듈을 직렬과 병렬로 연결하여 용도에 따라 여러개 설치한 것으로 태양전지 모듈, 어레이 부지, 서브 어레이, 보수 및 점검을 위한 통로설비, 접지, 보안을 위한 울타리, 바이패스 다이오드, 피뢰기, 지지대, 기초, 케이블, 고장검출 등의 보호 장치도 포함된다. 태양전지 모듈을 조합하여 지붕 또는 지상에 고정식이나 추적식으로 설치된 태양전지 전체를 말한다. 복수 개의 태양전지 모듈이 직·병렬로 접속되어 필요한 직류전압 및 발전전력을 얻을 수 있도록 구성되어 있다. 태양광 발전설비의 용량은 표준 태양전지 어레이 출력으로 표시된다.

2.4 전력변환장치

태양전지 어레이에서 발전한 직류전력을 교류전력으로 변환하기 위해 인버터 장치를 설치하게 되는데, 이는 태양광발전 PCS(Power conditioning system)라고 한다. 태양전지 어레이에서 발전된 직류전원을 상용계통과 같은 교류 전력으로 변환하는 장치를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

인버터라고 하기 때문에 태양광 발전용 PCS를 인버터라고도 한다. PCS의 구성은 인버터와 보호장치 및 전력제어장치로 구성되어 있다.

직류를 교류로 변환하는 장치인 인버터가 중요부분이기 때문에 이를 통칭하여 인버터 또는 역변환장치라고도 부른다. 태양전지 어레이로부터 발전된 직류전력을 교류전력으로 변환하여 교류전력계통에서 사용하고 있는 부하설비에 전력을 공급한다. 이와 동시에 여분의 전력을 계통에 역으로 흘려주는 역조류 기능과 전력계통 내의 이상 유무를 감지해 전력계통과 보호협조 기능을 가진 전력변환장치이다.

2.5 인버터

계통연계형 시스템의 태양광 발전설비에 필수인 요소로 고효율의 전력을 부하에 공급하기 위해서 태양광발전의 고효율, 발전전력의 고품질, 배전계통에서의 안정성 확보 등을 필요로 하고, 태양전지의 어레이에서 발전된 직류전력을 전력회사에서 공급하는 전력과 같은 전압과 주파수의 교류전력으로 변환하는 역할을 한다. 태양광 발전설비의 고효율화를 위해 태양전지의 최대 전력점의 운전은 반드시 필요하고, 발전전력의 고품질화를 위해 인버터의 출력전류를 단위역률, 정현파로 제어해야한다. 또 배전계통의 안정성 확보를 위해 시스템 보호기능 이외에 계통과 연계가 단절되었을 경우에 이를 검출해 배전계통으로 역충전을 방지해야 한다.

계통연계형 인버터는 태양전지에서 발생된 직류전력을 교류전력으로 변환해 교류계통에 접속되는 부하설비에 전력을 공급하는 장치이다. 발전전력이 많을 때는 여분의 전력을 전력계통선에 공급을 하고, 시스템의 출력부에 전력계통과 부하가 병렬로 연결된 형태의 양방향 조류방식이 채택되어 잉여전력을 한전측 전력계통으로 반환하거나 부족한 전력을 계통으로부터 공급받는다. 또한 전력계통에 접속이 되는 것이므로 계통과 동기, 인버터 출력전압의 조정, 유효전력, 무효전력의 제어, 고조파 함유량의 저감 등이 고려되어야 한다. 실제로 계통 전원측과 동기 시켜 계통측 전압과 필터를 통과하기 전 인버터 출력전압의 위상차를 조정하는 것에 의하여 전력의 양과 흐르는 방향이 조정되고 있다.

1)절연방식에 따른 계통연계형 인버터의 종류

태양광발전 PCS는 직류를 교류로 변환시키는 기능도 있지만 태양전지 어레이의 온도변화나 일사강도의 변화에 대한 최대 출력점을 추적하기 위한 기능, 자동운전·정지 기능, 고장 또는 결함시의 보호기능 등이 있다. 제어장치는 전력변환부를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제어하는 전자회로로 구성된다. 보호 장치는 전자회로 구성과 내부회로 고장에 대한 안전장치로서도 동작된다. 거의 모든 태양광 발전설비는 PCS를 통해 직류를 교류로 변환시켜 부하나 상용계통으로 전력을 공급한다. 계통연계형 인버터는 전류형과 전압형 인버터로 구성되고 전압형 인버터에는 PAM와 PWM이 있다. 최근에 인버터 사용은 전압형 전류제어방식을 많이 채택하여 사용하고 있다. 계통연계 태양광 발전설비의 인버터는 건축물에 적용할 때 교류계통으로 접속해 부하설비에 전력을 공급하는 장치고, 계통과 인버터 교류 출력간에 절연방식에 따라 고주파 변압기 절연방식, 상용주파수변압기 절연방식, 트랜스리스 절연방식으로 분류된다.

2) 직류전력 조절장치의 제어

직류 조절장치의 제어기능 및 보호방식의 기능은 크게 최대전력 추종제어, 자동운전 정지기능, 직류 검출기능, 단독운전 방지기능, 자동전압 조정기능, 직류 지락검출기능 등으로 분류된다.

2.6 계통연계장치

한전 상용전력계통과 태양광 발전설비를 결합하여 운용할 경우는 두개를 결합하는 장치로 계통연계장치가 필요하다. 계통연계장치는 태양광 발전설비와 상용전원계통을 항상 감시하고 사고 발생 시 즉시연계를 해제하고 사고의 파급을 방지하는 역할을 한다. 장치 사용을 위한 구성요소에는 연계보호장치, 연계개폐기, 변압기, 적산전력계, 차단스위치, 차단퓨즈, 필터소자 등이 있다.

2.7 감시제어시스템

데이터 표시와 수집, 자동·수동 절환, 축전지 충방전에 대한 제어, 부하 전력제어, 계통연계제어 및 보호, 태양광 추적 시스템 및 PCS의 기동제어 등이 포함된다. 대부분 PCS의 제어계와 일체로 구성되어 있다. 감시제어시스템은 3부분으로 나뉘어 있다. 어레이의 전압과 전류를 접속반을 통하여 측정이 가능하기 때문에 발전량, 부하량, 계통선 사용량까지 한대의 컴퓨터에서 감시제어가 가능하다. 각 어레이 전압, 전류값은 접속반에 설치되어 있는 Transducer를 거쳐서 RTU를 통해 컴퓨터와 RS-422 통신으로 데이터를 주고받고, 디지털 양방향 전력계를 통해 부하측의 전력량과 전류, 전압값 등을 통신함으로 이처럼 전력감시 자동화 프로그램을 세팅해 감시제어를 하고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 태양광발전 시스템

태양광 발전설비는 그림 3과 같이 상용 전력 계통으로부터 독립된 형태로 이용되는 독립형 시스템과 상용전력계통에 연계되어 운용되는 계통연계형 시스템으로 구분된다. 독립형 발전설비는 상업적으로 전력을 공급하는 것이 목적이 아니라 상용의 전력계통으로 부터 독립되어 있는 비교적 소규모의 전원을 요구하는 경우에 채택된다. 반면 계통연계형 태양광 발전설비는 규모의 크기와는 관계없이 상업적인 전력 공급이 필요한 경우에 채택된다.

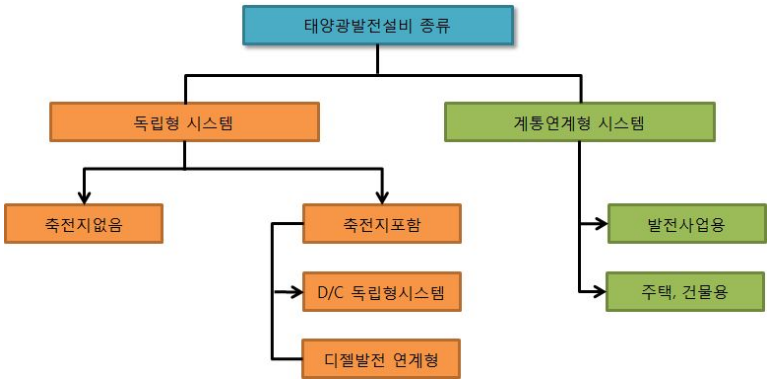


그림 4 태양광 발전설비의 종류

3.1 계통연계시스템 구성도

주택이나 빌딩 등의 지상, 옥상, 벽면 등에 설치하며 비상용 전원이나 대규모발전설비에 이르기까지 다양한 분야에 적용되고 있다. 주택 또는 빌딩 등의 계통과 연계된 태양광 발전전원 형태의 시스템으로 상용전력계통과 연계되어서 계통연계형 태양광 발전설비는 화석연료 대체와 환경문제 해결, 기존 계통의 피크전력 저감, 전력의 안정적인 공급효과도 기대해 볼 수 있다.[3]

또 계통연계형 시스템은 역조류가 있는 시스템과 없는 시스템, 발전사업자용 시스템으로 세분화된다.

그림 4는 역조류가 있는 시스템에서 태양광 발전설비에 여분의 전력이 발생된 경우에는 전력회사에 전력을 판매 할 수 있다. 태양광 발전설비는 출력이 기상여건에 따라 좌우되기 때문에 주택 등지에서 안정된 전기를 이용하기 위하여 전력회사의 전력계통

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

과 연계해 운전할 필요가 있다. 태양전지의 출력이 수요에 비해 부족한 경우 부족분이 전력회사의 배전선에서 유입되고 반대로 태양전지의 출력에 여분의 전력이 발전하면 전력회사의 배전선으로 역송전하여 매입될 수 있다. 현재 주택의 태양광 발전설비에 이용되는 방식은 전부 역송전이 있는 시스템이다.

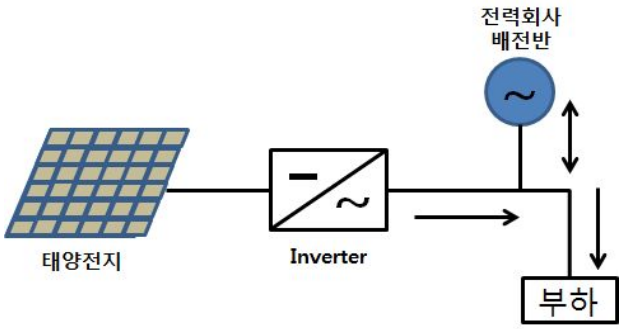


그림 5 역조류가 있는 시스템

그림 5는 역조류가 없는 시스템을 나타내며, 전력수요가 항상 태양광 발전설비의 출력보다 크고 역송전이 발생할 가능성이 없는 경우에 사용된다. 이 시스템에서는 전력회사의 배전선으로 태양광 발전설비의 여분전력을 역송전 시키는 것은 되지 않기 때문에 역방향의 전류가 미세하게 발생한 경우에도 태양광 발전설비의 출력을 줄이거나 운전을 정지하는 기능이 필요하다. 또 한국전력공사 분산형전원 계통연계형 기술기준에서는 발전설비를 연계하는 전력계통의 전압구분에 의하여 설치되는 보호 장치 등의 연계요건을 정하고 있어서 수전 점의 전압에 따라 저압계통, 고압계통 등으로 분류된다.

그림 6은 계통연계형 태양광 발전설비의 구성을 나타낸 것이다. 계통연계형 태양광 발전설비는 감시 및 제어장치, 전압제어, 역류방지회로, 연계장치 모두가 1대의 전력조정기 내에 포함되어 있지만 인버터와는 구분된다. 일반적으로 전력조정기가 인버터에 포함된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

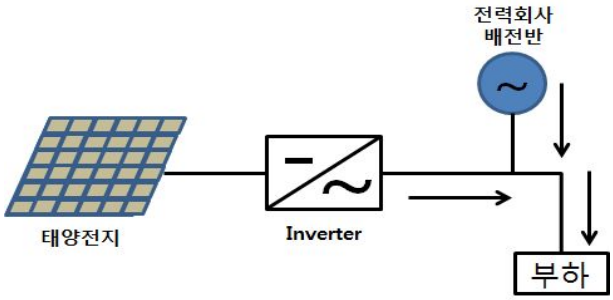


그림 6 역조류가 없는 시스템

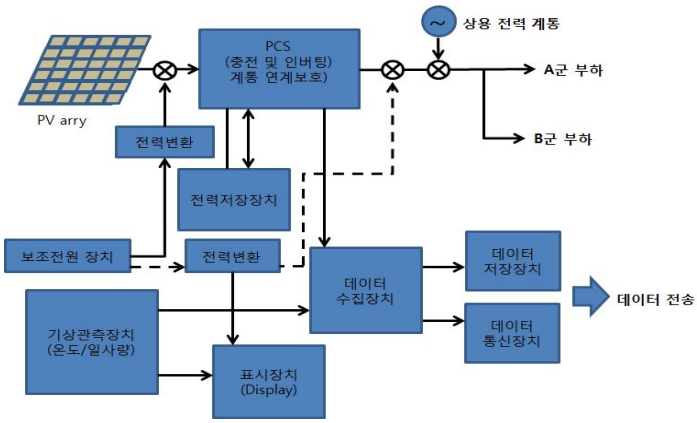


그림 7 계통연계형 태양광 발전설비의 구성

3.2 독립형시스템

독립형 태양광 발전설비는 계통에서 전력수급을 받지 못하는 곳에서 직류 또는 교류 부하에 전력공급을 하는 시스템으로 기존의 인버터 방식의 대부분이 이에 속한다. 태양광발전을 전원설비로 구성하게 되면 경제적인 시스템 운영과 안정된 전원공급이 가능하다. 직류 부하용 시스템은 부하가 직류전원을 요하는 경우로 소용량으로 계통선과 연결하기 힘든 등대나 시계탑, 통신장비 전원용 등에 사용된다. 교류 부하용 시스템은 직류를 교류로 변화시켜 교류부하에 쓰이는 시스템으로 수용전력이 소용량인 곳에 사용된다. 아래 그림 7은 독립형 태양광 발전설비의 구성도를 간략하게 나타낸 것이다. 그림에서 나타나 있듯이 부하 특성에 따라 시스템의 설비 구조가 바뀔 수 있다.

독립형 태양광 발전설비는 축전지 설비를 보유하고 있고, 계통선과 분리되어 있기

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

때문에 시스템에서 발생된 무효전력, 유효전력, 고조파는 계통선에 영향을 미치지 않는다. 하지만 축전설비에 비용이 많이 들고 넓은 설치공간을 필요로 한다. 또한 축전지의 유지보수 및 폭발 위험과 같은 문제점들이 있다. 또 태양전지에 축전지를 직접 연결해 사용한 경우는 축전지의 전압동요가 태양전지 MPP점을 이동시켜 최대전력 사용이 불가능하고, 축전지의 충·방전 손실이 발생해 효율이 좋지 않다..

한편, 부하 용량의 증가에 따른 인버터간의 병렬운전이나 반도체 전력변환장치 사용으로 인하여 발생된 상용 전력계통의 무효전력을 보상하고자 무효전력 보상기를 설치한다. 태양광발전이나 연료전지발전 또는 풍력발전과 같은 대체에너지용 인버터의 계통선과 연계운전, 인버터 시스템과 다른 교류 전원의 병렬운전이 증가되고 있다.[4]

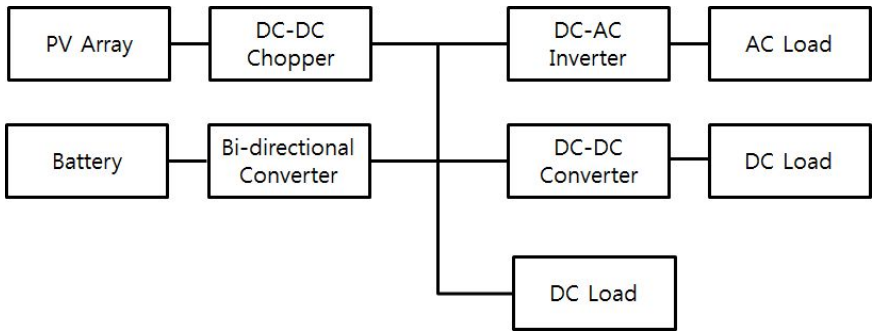


그림 8 독립형 태양광 발전설비 구성도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. 태양광 발전설비의 등가 대지저항

1. 대지 저항률

일반적으로 토양자체가 가지는 고유저항을 대지고유저항이라 하고, 대지를 상대로 하여 나타내는 저항을 대지고유저항, 대지비저항, 토양 비저항 등으로 나타내며, 그림8과 같이 나타낼수 있다. 어느 물질의 1㎥의 입방체가 가지는 저항치를 그 물질의 저항율 이라고 하고 사용되는 단위는 [Ω·m]이다.

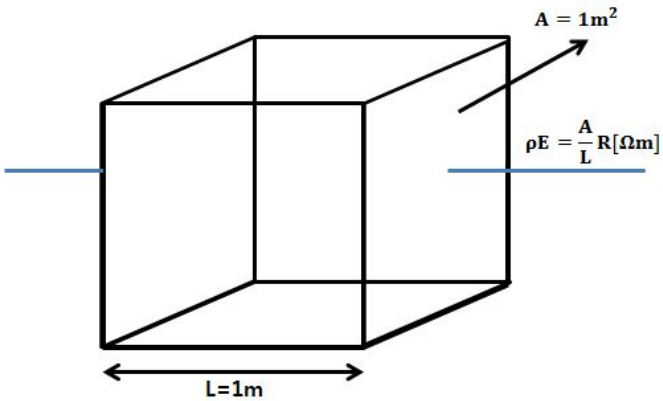


그림 9 대지 고유저항의 정의

같은 토양일지라도 온도, 습도 등 외부의 기후조건에 의해 큰 영향을 받는다. 그러므로 접지 설계의 가장 중요하고 올바른 대지고유저항의 산출은 측정기로써 측정해야만 하며 측정 불가능한 경우 기본적인 시추조사표와 각종 데이터를 근거해서 현실에 근접한 대지고유저항을 산출해야 한다. 따라서 접지의 규모나 차후의 비용을 줄이기 위하여 정확한 대지고유저항의 산출에 우선해야 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.1 깊이에 따른 대지저항율

대지고유저항의 깊이에 따른 영향은 다른 조건들에 비하여 영향을 덜 받기는 하지만 아예 무시 할 수 없다. 일반적으로 접지동봉을 깊이 박는 것이 좋다고 인식되지만 우리나라의 지질 구조상 많은 효과가 있다고 볼 수 없으며 그림 9는 전국 대지고유저항 분포도를 나타내고 있다. 그러나 깊게 내려갈수록 온도와 같은 여러 인자들의 영향이 적어 경년 변화에 의한 저항율의 변동이 적어 유리하다. 그러므로 접지선의 매설깊이는 0.5~1.0m 정도의 깊이로 매설하는 것이 보통이다. 다만 지하 접지매설지역에 암반돌출 시에 지락과 고장전류의 반발을 감안해 암반으로부터 1.5m 이상에서 매설되야 한다.[5]

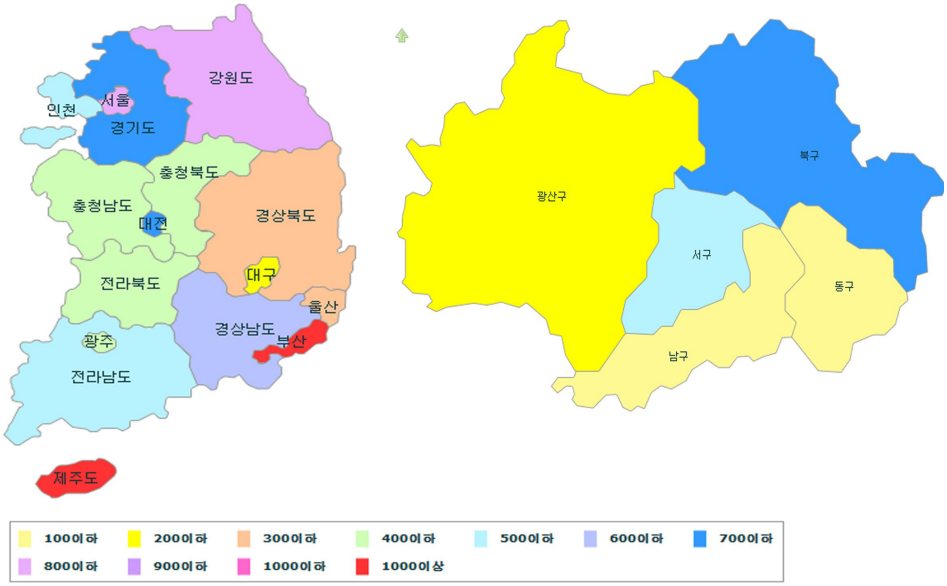


그림 10 전국 대지고유저항 분포도

1.2 토양별 대지저항률

표 1은 토양의 종류에 따른 저항률을 나타낸 것이다. 토양을 구성하는 성분, 분포, 균질성, 입자크기, 조밀도 등에 따라 대지저항률의 크기는 달라진다. 특히 지표면 10m 이내는 지층구성의 변동이 심해 측정 장소에 따라서 그 값의 변동이 심하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 1 토양의 종류에 따른 저항률

토양의 종류	저항률
양토	20~100(Ω · m)
바위 및 암반지대	104~107(Ω · m)
산지(점토질)	200~2000(Ω · m)
자갈 옥석이 깔린 해안	1000~5000(Ω · m)
부식토	10~150(Ω · m)
모래점토	50~500(Ω · m)
해안모래	50~100(Ω · m)
산지(암반지대)	2000~5000(Ω · m)
논, 습지(점토질)	10~150(Ω · m)
밭(점토질)	10~200(Ω · m)
논, 밭	100~1000(Ω · m)

1.3 지역별 대지저항율

표 2는 지역별 대지저항률을 나타낸다. 표 2와 같이 대지 저항률의 범위에 따라 토양 속에 충분한 물이 함유된 하구나 해안의 낮은 지역인 낮은 저항률 지역, 지하수를 얻는 데 어려움이 없는 내륙 평야지역 중간 저항률 지역, 물이 잘 빠지는 구릉지, 산지, 고원 등의 높은 저항률 지역로 나뉜다.

표 2 지역의 대지 저항율

저항율 / 지역별	대지고유저항	지질의 특성
저저항율 지역	100 [Ω · m] 이하	강이나 하천, 바다가 인접한 지역 (물이나 수분이 풍부한 지역)
중저항율 지역	100~1000 [Ω · m]	지하수가 풍부한 준평원 지역
고저항율 지역	1000 [Ω · m]이상	자갈, 암반의 빈도가 높은 지역

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.4 수분 함수량에 따른 대지저항률

표 3은 토양별 함수량에 따른 접지 저항값을 나타낸다. 토양에서의 전기전도는 전해질 중에 함유된 이온의 이동에 의한 전기전도에 의해서 이루어지기 때문에 토양중에 수분이 함유되면 저항률이 저하되어 대지저항은 급속히 감소한다. 함수량이 25% 이상이면 대지저항에는 거의 변화가 없고 그보다 건조하면 저항이 현저하게 증가하게 된다. 함수량이 22% 이하면 대지고유저항은 급격하게 상승하고 함수량이 5%일 때의 고유저항은 포화 때보다 400배 이상이 된다.

표 3 토양별 함수량 변화에 따른 접지저항값

함수율 / 토질	건조 (10%이하)	표준습기 (20%)	적은 상태 (50%이상)
혼토	30 [Ω]	10~20[Ω]	5 [Ω]
적토	500 [Ω]	300 [Ω]	50[Ω]
사적토 혼합	300 [Ω]	130 [Ω]	50[Ω]
사암	1500[Ω]	300 [Ω]	70[Ω]

1.5 화학성분에 따른 대지저항률

토양의 저항률은 함유된 수분의 양에 따라서도 변화하지만 토양 중에 용해되어 있는 염분이나 산, 알칼리 등 화학물질의 양이나 조성에 따라서도 크게 변화한다. 염분의 영향은 토양의 종류나 수분의 함유량에 따라 크게 다르다. 대지 저항률은 염분 농도가 증가하게 되면 급속히 감소하게 되므로 접지저항의 저감을 위해 소금 또는 화학성분의 접지저항 저감제가 사용되기도 하지만 지속성 유지에 신경을 써야한다.

1.6 온도에 따른 대지저항률

온도에 따라 저항률은 변화하고 보통의 경우에 온도가 높아지면 금속의 저항률은 증가하지만 반도체나 전해질의 저항률은 감소하는 속성이 있다. 토양에 함유된 수분도 전해질이므로 대지 저항률은 온도상승과 더불어 감소하게 된다. 토양이나 암반에 함유된 수분이 증발되거나 동결될 정도로 높은 온도나 낮은 온도로 변화하게 되면 대지 저항률이 변화하는 경우도 있지만 수분이 증발되지 않는 범위 내에 온도가 상승하게 되면 수분에 포함된 이온의 이동도가 증가해 대지 저항률은 약간 감소하게 된다. 특히

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

상온 상태에서 토양의 전기적인 특성은 전해질과 비슷하다. 모래와 자갈의 경우 온도가 0℃일 때 대지 저항률이 비선형적으로 증가하는 특성은 토양이 동결되었을 경우 대지 저항률이 급격히 증가하는 이유 때문이다. 0℃이하 온도에서 대지 저항률의 변화 정도는 영상온도 때 보다 변화율이 크다.

1.7 계절별 대지저항률

대지저항률은 토양에 함유된 수분과 온도 등과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 기후나 계절에 따라서도 변화 한다. 계절이 변하면 온도도 변하지만 토양에 함유된 수분의 양도 함께 변하게 되서 대지저항률은 대체적으로 기온이 낮고 건조한 겨울철에 높고 고온다습한 여름철에는 낮아진다. 대지저항률의 계절적 변화량은 동일한 토질이라고 해도 장소, 시간, 접지전극의 형태, 매설깊이 등에 따라 변화 한다.

2. 태양광 발전설비 접지저항

2.1 태양광 발전설비 접지공사 종류

전기설비기술기준에서 정한 접지공사의 종류는 표 4에 나타낸 것과 같이 4종류이고, 접지 저항값은 최대값이기 때문에 필요개소의 접지저항은 표에 표시한 값보다는 항상 적은 값이 되게 유지하여야 한다. 접지선의 굵기를 결정하는 경우에 기계적강도, 내식성, 전류용량 3요소를 고려하여 결정한다.

표 4 전기설비기술기준에서 정한 접지공사의 종류

<table>
<tr><th>종류</th><th colspan="3">접지저항값</th><th>설비적용</th></tr>
<tr><td>제1종
접지공사</td><td colspan="3">10[Ω]</td><td>특고송전설비</td></tr>
<tr><td rowspan="4">제2종
접지공사</td><td colspan="2">35kV 이상</td><td>(150/1선 지락전류)[Ω]</td><td rowspan="4">변압기
고,저압
혼촉방지</td></tr>
<tr><td rowspan="3">35kV
이하</td><td>차단시간
1~2초</td><td>(300/1선 지락전류)[Ω]</td></tr>
<tr><td>차단시간
1초이내</td><td>(600/1선 지락전류)[Ω]</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>제3종
접지공사</td><td colspan="3">100[Ω]</td><td>모듈, 어레이</td></tr>
<tr><td>특별 제3종
접지공사</td><td colspan="3">10[Ω]</td><td>접속함,
인버터</td></tr>
</table>

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 태양광 발전설비 접지저항 계산

산악지역 등에 설치된 태양광 발전소의 접지저항을 측정하기위해 접지전극은 4~5배의 이격거리를 두고 전극 상호간에 전위간섭이 없도록 충분하게 이격거리를 확보하는 것은 사실상 어렵다. 태양광 발전소와 같은 대규모 접지전극에서는 일반적인 측정방법으로 측정된 결과에 대하여 신뢰도가 떨어진다. 따라서 IEEE Std. 81-2를 기본으로 한 검사판정기준을 이용한 방법이 국내에서 적용 중이다. 접지저항측정은 대지의 고유저항률과 대지전위 상승, 보조전극 타설위치, 전력선과 특성유도 등이 고려되어야하고 이외에 고려할 기술 측정요소가 많다. 태양광 발전설비의 접지저항 측정을 위하여 사용되는 장비성능은 대규모빌딩, 대규모상가, 공장의 접지전극보다 높은 인가전류와 전위보조전극의 타설위치 및 측정기기 노이즈제거, 고출력의 앰프성능 등이 요구된다.

일반적인 접지저항 측정의 원리는 그림 10과 같다. 접지전극에 전원공급장치를 이용해 전류를 인가하고 인가 전류에 의해 발생된 접지전극과 전위보조전극 사이의 전위차를 전압계를 이용해 측정한다. 또 접지전극과 전류보조전극 사이의 전류는 전류계를 이용해 측정된다. 옴의 법칙에 의해 E=RI, R=E/I 식을 이용해 접지 전극 저항 R값을 얻는다. 만약 전원공급장치에서 I=1[A]의 전류를 공급 했을때 접지전극으로부터 발생된 전위차가 E=20[V]로 측정되었다면 접지전극의 접지저항 R은 20Ω이 된다.

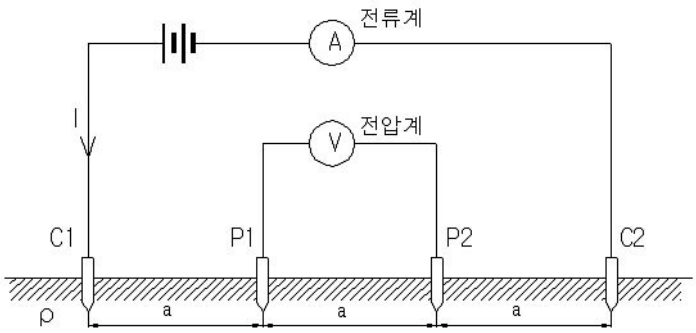


그림 11 접지저항 측정

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

주접지전극과 전류보조전극이 그림 11과 같이 충분한 이격거리로 설치되면 그림12와 같은 전위분포 패턴이 나타난다. 두 전극 사이에 전위간섭이 없기 때문에 주접지극으로부터 발생하는 전압을 측정해 접지저항을 측정할 수 있다.

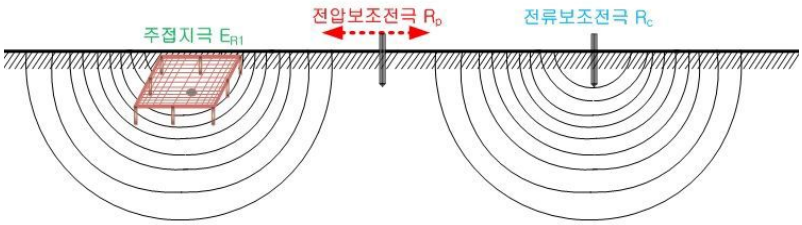


그림 12 보조전극간 전위간섭이 없는 경우 전위분포 패턴

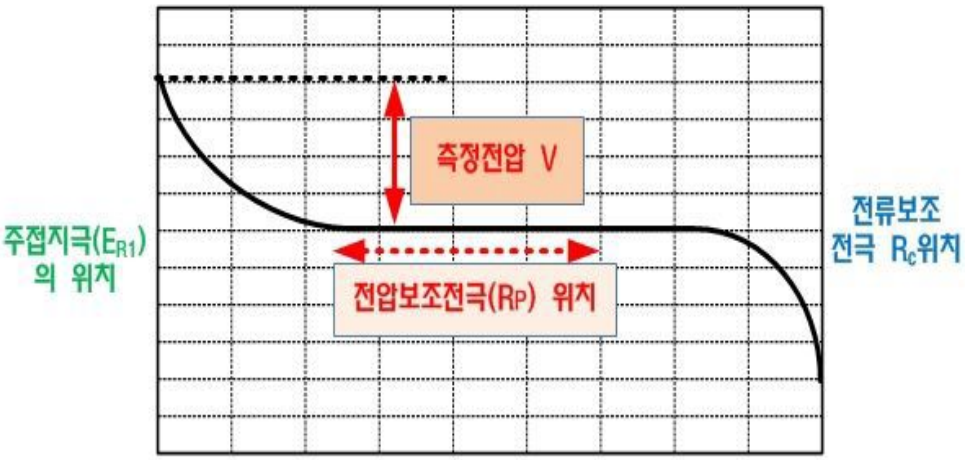


그림 13 주접지전극과 전류보조전극간의 전위간섭이 없는 경우 전위분포 특성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

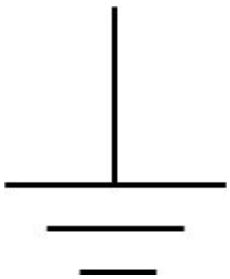
Ⅳ. 접지설계 검토 및 분석

1. 접지의 검토

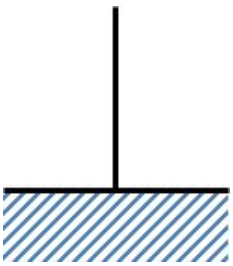
접지란 각종전기설비나 피뢰설비, 유도장해방지 설비, 가공지선 그리고 정전기제거 설비, 전식방지설비와 구조체 등을 접지도선으로 대지와 전기적인 접속을 말한다.

접지는 엄밀하게 대지접지와 기준접지로 구분하지만 최근에는 두개를 혼용하여 사용하고 있다. 대지접지는 대지전위 접지를 의미하며, 지구를 전위의 기준도체로 취하는 방식이다. 기호로는 'E'가 사용된다. 기준접지는 기기나 시스템 내부의 넓은 면적의 도체(기판이나 장치외함 등)를 전위의 기준도체로 하는 방식이다. 기호로는 'G'가 사용된다. 특히 정보통신설비의 접지에는 기준전위 접지(G)가 적용된다.[7]

국제전기표준회의(IEC)의 접지기호를 다음의 그림 13과 같이 나타냈다.



(a) 대지접지(earth)



(b) 기준접지(ground)

그림 14 IEC의 접지기호

접지는 용도에 따라 분류되기도 한다. 접지는 용도에 따라 강전용 접지와 약전용접지로 나뉜다. 강전용 접지는 평상시는 접지계에 전류가 흐르지 않아 보안용으로 사용되지만 약전용 접지는 회로의 기능을 하며 평상시에도 전류가 흐른다. 접지전극에 I[A]의 전류가 유입되어 대지에 흐르면 그림 14와 같이 접지전극과 흙 입자, 물, 공기와의 혼합물인 대지에는 전위차가 발생해 대지에 대하여 접지전극에는 E [V]만큼 전위가 상승한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

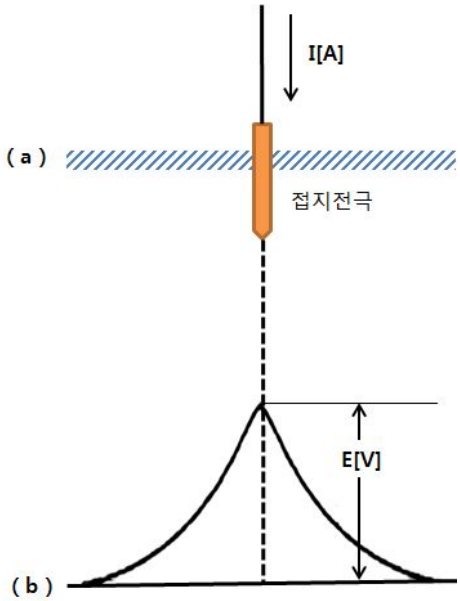


그림 15 접지저항

이와 같은 상황에서 접촉저항 전류는 대지의 저항으로 인해 접지전극주변 대지에 무한 원점까지 대지 전위의 상승이 발생한다.

이때 상승하는 전위 E를 옴의 법칙을 이용해 표현하면 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{E[V]}{I[A]} = R[\Omega] \tag{1}$$

접지시스템의 설계에 있어 접지 매설 지역의 토양구성 및 종류, 전기적 특성은 접지 성능에 결정적인 중요한 요소이다. 토양이 가지고 있는 특성에 따른 접지시스템의 구성은 경제적인 면에서도 밀접한 관계가 있다. 그림 15는 대지로 방사되는 전류에 대해 나타낸 것이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

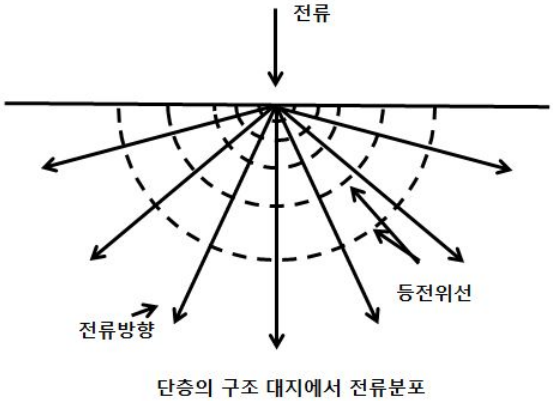


그림 16 대지로 방사되는 전류

그림 15와 같이 접지전극이 삽입되고 전극에 전류 I 가 유입되고 있다고 가정했을 때, 전류는 전극에서 주위의 대지로 방사모양으로 유출된다.

1.1 접지시스템 설계

1.1.1 접지시스템의 설계

접지시스템설계는 단순히 접지봉을 통해 접지저항 계산을 하는 것이 아니라, 컴퓨터 프로그램을 이용하여 접지의 전반적인 부분을 시뮬레이션 한다. 또 노이즈로 인한 장비간의 간섭이나 오동작, 외부서지 발생 시에 장비와 인명을 보호하고 기기의 안정적인 운용을 하기 위해 건물신축 및 장비 실구성시에 설계부터 접지시스템을 설계에 반영해야 신뢰성이 있고 경제적인 접지시스템이 구성될 수 있다.

대지에 매설된 접지전극에 의해 인출된 접지선에 접속단자를 접속하여 접속단자에서 접지사용 기기에 연결하는 체계적이고 안정적인 접지시스템의 설계가 복잡해지고 있다. 최근 강조되는 접지시스템의 주요사항들은 다음과 같다.[8]

인텔리전트 빌딩은 보안시스템 기기, 통신기기, 건물관리 시스템 기기 등이 다양한 기기들이 도입되어 접지는 매우 중요하며 컴퓨터의 전원설비 접지는 정상적인 동작을 위해 신호용 접지와 기기용 접지필터 접지가 필요하고 병원에 있는 의료기기들은 기기 자체뿐 아니라 배전설비에 있어 높은 신뢰도의 접지를 요구한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

종전까지 접지는 피뢰 접지를 의미했으며 피뢰침이나 외부에 발생한 이상전압의 보호 목적인 외부접지만 의미했다. 그러나 최근 전자기기, 통신기기 등을 보호하는 내부피뢰의 새로운 기술이 필요하다.

국제전기 표준회의(IEC)에 따르면 외부피뢰는 건물에 설치된 피뢰침 등 수전부에 뇌격이 있는 경우 뇌전류를 접지계통으로 내보내는 것이고, 내부피뢰는 뇌전류와 이로 인해 전자계가 건물내부 금속제 설비나 각종 전기계통의 장해를 방지하기 위한 수단을 말한다.

1.1.2 접지설계의 순서

효율적인 접지설계를 위해서는 설계 기본요소를 바탕으로 계획적으로 하여야 한다. 접지전극은 보통 건물의 지하에 매설되기 때문에 접지설계와 시공은 건물보다 우선적으로 이루어져야 한다. 그래서 기본설계는 물론 실시설계에서도 접지설계에 필요한 요소를 확실하게 파악해 체계적으로 정리하여야 한다. 기준 접지저항의 결정은 접지의 목적을 먼저 선정해야 하는데 접지의 사용용도 및 접지대상 기기파악을 해야 한다. 전압의 결정은 접지대상 기기의 사용전압이 고압인지 저압인지 파악해야 하며, 또한 현상 파악으로 지락전류, 전위 상승, 접촉전압을 살펴야한다. 적용법규는 전기기술기준 규격의 적합성을 확인해야하며 보호특성, 지락차단시간, 인체 전기적 특성, 보폭전압 등을 계산해 기준 접지 저항치를 결정한다. 접지를 필요로 하는 기기의 종류는 다양한데 우선 접지 설계를 하기 전 접지를 필요로 하는 대상기기를 선정하고 접지를 목적별로 분류한 후 접지공사의 종류를 결정해야 한다. 접지공사 구역 상황을 파악하고 그 접지를 단독으로 할 것인가 공용접지로 할 것인가를 선택해야 한다.[9]

1.1.3 접지전극 설계 기본

접지공사 장소를 선정하고 기준 접지저항이 결정되면 접지설계의 기본 자료가 완료된다. 하지만 세밀한 설계를 위해 다음의 사항들을 조사하여 완벽한 설계가 되도록 해야 한다.

첫째로 접지저항의 계절적인 변동특성을 고려해야 하고, 둘째로 접지전극 매설장소의 기상조건이 고려되어야 하며, 셋째로 접지전극의 종류와 매설상황 파악하여 설계를 해야 한다. 접지저항의 기본설계 흐름도는 그림16과 같이 이루어진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1) 기준접지저항 : 필요한 접지공사의 기준 접지저항을 선정한다.

↓

2) 계절 변동 : 온도에 따른 계절적 변동요인을 생각한다.

↓

3) 소요 저항 : 소요접지저항은 얼마인가?

↓

4) 사전조사 : 사전 조사할 내용은 무엇인가?

↓

5) 대지도전율 : 대지도전율 필요곡선을 작성

↓

6) 접지 구역 : 접지공사에 소요되는 구간을 선정한다.

↓

7) 접지공법 : 현지여건에 맞는 공법을 선정한다.

↓

8) 접지재료 : 공사에 필요한 소요자재를 산정한다.

↓

9) 시공 : 접지공사를 시공한다.

그림 17 접지저항 기본설계 흐름도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 접지시스템의 진단기법

2.1 정상접지임피던스 및 분류율

접지전극의 임펄스 특성을 고려한 전압과 주파수별 등가회로는 그림 17에 나타냈다. 여기에서 (a)는 저전압과 상용주파수, (b)는 고전압과 고주파, (c)는 초고주파가 인가되었을 때의 접지전극 등가회로이다.

따라서 정상상태 상용주파수대 접지시스템은 용량성, 유도성의 영향을 받지 않으며 저항성분만 존재하기 때문에 운전 중의 변전소 정상접지임피던스는 접지저항의 측정만으로 가능하다.[10]

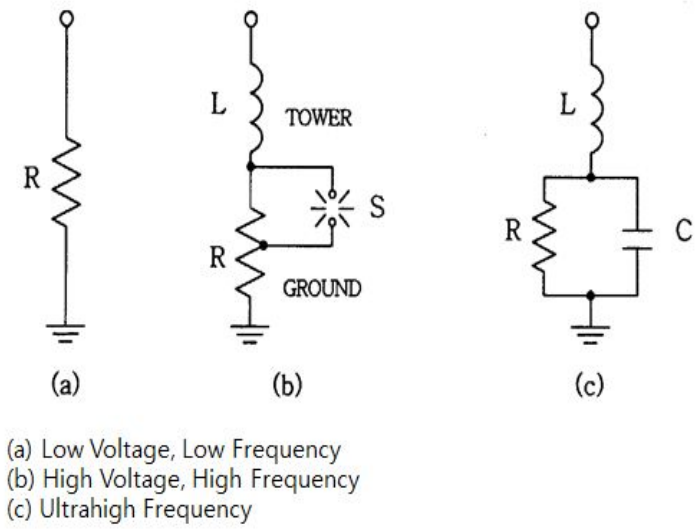


그림 18 접지전극의 전압과 주파수별 등가회로

2.2 가공지선 분류율 계산

기본개념은 송전선에서의 전자유도 계산과 비슷하다. 대지귀환 임피던스 및 기타 임피던스들의 계산은 Carson-Pollaczek 방정식을 기초하여 계산하였다. 구해진 집중상수는 그림 18의 사다리회로에 의해 모의됐다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

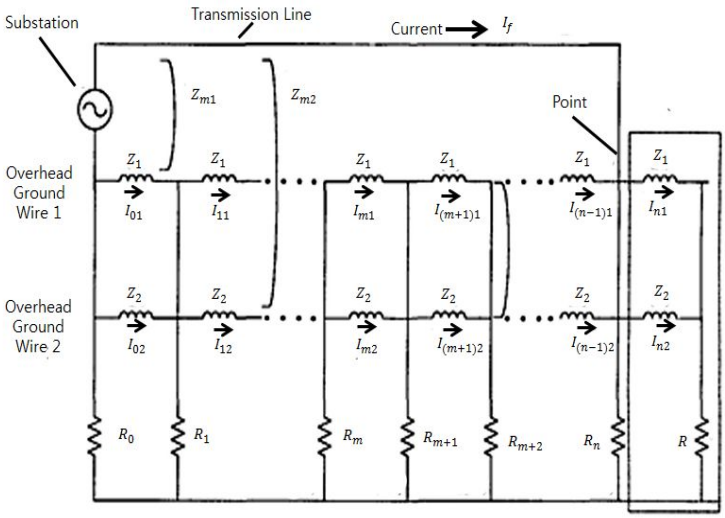


그림 19 모의등가회로

Ground Wire Shunting Rates=$(I_{01}+I_{02})/I_f$

R_0	:	Substation Ground Resistance
R_{1-n}	:	Tower Footing Resistance
Z_{1-2}	:	Ground Return Self-Impedance
Z_m	:	Ground Return Mutual-Impedance
Z_{rs}	:	Impedance View Distance from Fault Point

2.3. 전위강하법

2.3.1 61.8[%]의 법칙

측정 접지전극을 그림 19와 같이 반지름 r의 반구형의 접지전극으로 하고 주위의 대지저항률은 어느 곳이나 같다고 봤을 때 이것을 ρ라고 한다.

또한 E 전극측정대상의 반구모양 전극의 중심으로부터 C[m]인 곳에 전류전극 C를, 그리고 P[m]의 곳에 전위전극 모를 타설 후 E전극으로 전류 I가 흘러 C전극으로 흘러나온다고 가정하였다. 반구모양의 접지전극 접지저항은 $\rho/2\pi r[\Omega]$이고, E전극에 전류 I가 흘러들어갈 때 그 전위는 무한원점을 기준으로 $\rho I/2\pi r$[V] 만큼 상승한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

따라서 E 전극에 유입하는 전류 I에 의해 P점의 전위 상승의 값을 계산할 수 있다. 반구모양 전극의 중심으로부터 거리 r_1[m]인 점의 전위는 다음 식 (2)로 나타냈다.

$$E = \frac{\rho I}{2\pi r_1} \tag{2}$$

그림 19에서 EP간 거리는 P[m]이기 때문에 P점의 전위는 $\rho I/2\pi P$가 된다. 따라서 E 전극에 유입되는 전류 I에 의한 EP간 전위차 V_1는 E 전위에서 P 의 전위를 빼면 다음 식 (3)과 같다.

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P}\right) \tag{3}$$

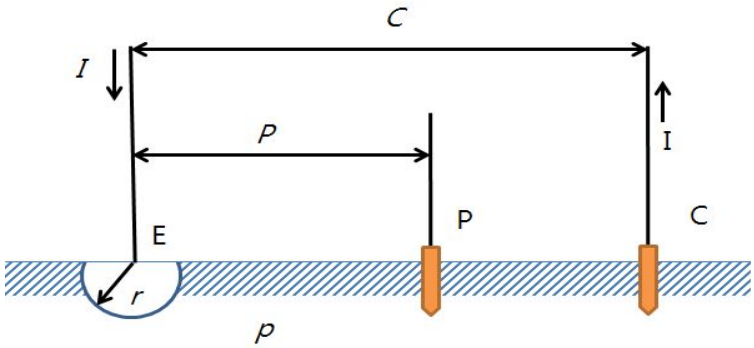


그림 20 전위강하법에 의한 접지저항의 측정

C 전극에서 유출하는 전류 I에 의한 EP간의 전위차를 구하기 위해서는 먼저 C전류에서 유출되는 전류 I에 의한 E 전극의 전위상승을 구해야한다. C전극은 반구모양은 아니지만 $E = \frac{\rho I}{2\pi r_1}$ 적용하면, E전극의 전위상승은 $-\frac{\rho I}{2\pi C}$이다.

여기서 -기호는 전류의 방향이 반대이기 때문이고, P점의 전위상승은 $-\frac{\rho I}{2\pi(C-P)}$다. 따라서 C전극에서 유출되는 전류에 의한 EP간 전위차 V_2는 다음 식 (4)와 같다.

$$V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi C} - \left(-\frac{\rho I}{2\pi(C-P)}\right) = -\frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C-P}\right) \tag{4}$$

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

EP간에는 V_1과 V_2라는 2개의 전위차가 가해져서 최종적인 EP간의 전위차는 $V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} = \frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{r} - \frac{1}{P})$과 $V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi C} - (-\frac{\rho I}{2\pi(C-P)}) = -\frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{C} - \frac{1}{C-P})$의 두식의 합으로 아래의 식 (5)와 같다.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P}) \tag{5}$$

이것을 전류 I로 나눠주면 접지저항 R은 식 (6)과 같이 구할 수 있다..

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P}\right) \\ &= \frac{\rho}{2\pi r}\left(1 - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} + \frac{1}{c-p}\right) \end{aligned} \tag{6}$$

이때, $p = P/r,\ c = C/r$

또한$\rho/2\pi r$은 반구모양 접지전극의 참값이며 이것을 R_∞라 하면 접지저항의 측정값 R은 다음 식 (7)과 같다.

$$R = R_\infty\left\{1 - \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c-p}\right)\right\} \tag{7}$$

여기서, 중괄호 안의 제 2항은 오차항이고, 이것이 0이 될 때에 측정값이 참값과 같아진다. $\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c-p} = 0$ 즉, $p^2 + cp - c^2 = 0$ 이다. p를 변수로 해서 2차 방정식을 풀면 해는 p=0.618c와 p=-1.618c 로 2개가 나오지만 $p \times c$ 값이 +의 값이어야 하기 때문에 첫 번째의 풀이가 해가된다.

즉 $\frac{p}{c} = 0.618$ 의 조건을 만족할 때 측정값은 참값과 같아진다. 이것은 반구모양 접지전극의 접지자항을 측정할 때 그림 20과 같이 EC간 거리의 61.8[%]의 곳에 전위전극을 타설하면 정확한 값을 얻을 수 있다는 뜻이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

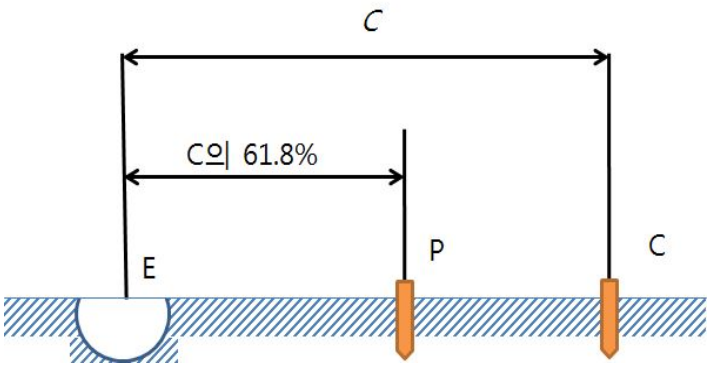


그림 21 61.8%의 법칙

2.3.2 전위보조극의 배치1

그림 21은 측정대상의 E전극을 중심으로 좌우에 C전극과 P전극을 타설하는 경우를 예로 든 것이다.

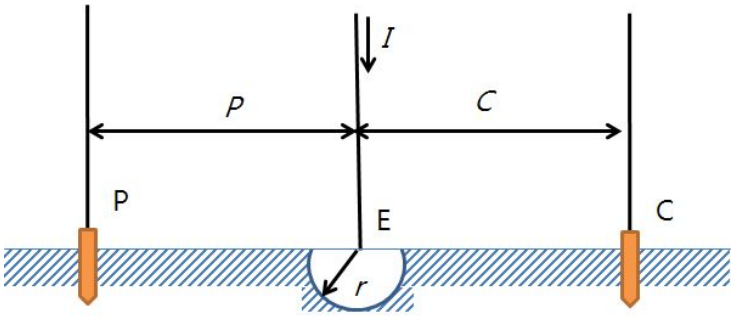


그림 22 P전극을 C전극의 반대측에 타설하는 경우

EC간의 거리를 C, EP간의 거리를 P로 하고 전류 I는 E전극에서 유입하여 C전극에서 유출되고 있는 것으로 한다. 또 E전극의 반지름을 r, 주위의 대지저항율을 ρ로 하면 E전극에 유입되는 전류 I에 의하여 발생되는 EP간의 전위차는 식 (8)과 같다.

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} \tag{8}$$

C전극으로부터 유출되는 전류 I에 의해 생기는 EP간의 전위차는 식 (9)와 같다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi C} + \frac{\rho I}{2\pi(P+C)} \tag{9}$$

EP간에는 V_1과 V_2라는 2개의 전위차가 가해져서 최종적인 EP간의 전위차는 식 (10)과 같다.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{P+C}\right) \tag{10}$$

이 된다. 전류값 I로 나누면, 접지자항의 측정값 R은 식 (11)과 같다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi r}\left(1 - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} - \frac{1}{p+c}\right) \tag{11}$$

여기서, p=P/r, c=C/r, $\rho/2\pi r$은 반구모양 접지전극의 접지저항의 참값이다. 이것을 R_∞라 하면 접지저항값 식 (11)은 식 (12)와 같다.

$$R = R_\infty\left\{1 - \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{p+c}\right)\right\} \tag{12}$$

여기서 중괄호 안의 제2항을 0과 같다고 놓으면, $\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{p+c} = 0$

즉, $p^2 + cp + c^2 = 0$ p를 변수로 해서, 이 2차 방정식을 풀면 $p = \frac{c \pm \sqrt{-3c^2}}{2}$ 가 되어 p가 허수가 된다. 다시 말해 전극배치에서 참값을 구할 수 있는 P전극의 위치는 존재하지 않는 것으로 결론이 났다.

2.3.3 전위보조극의 배치2

측정의 대상 전극을 반구모양 접지전극 E로 하여 그림 22와 같이 표시하고 각도 Θ로 전류극 C와 전위극 P가 떨어져 있다고 하면 E 전극의 전위 $\rho I/2\pi r$, C전극에서 유출하는 전류 I에 의한 전극의 전위는 $-\rho I/2\pi C$가 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

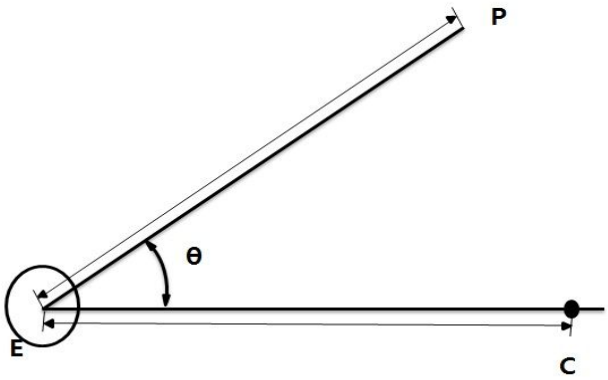


그림 23 P전극을 각도 θ방향으로 타설하는 경우

따라서 E점의 전위는 $V_1 = \frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{r} - \frac{1}{C})$ 또, E 전극에 유입하는 전류 I에 의한 P극의 전위는 $\rho I/2\pi P$ 이고 C전극에서 유출하는 전류 I에 의한 P극의 전위는 식 (13)과 같다.

$$\frac{-\rho I}{2\pi\sqrt{P^2 + C^2 - 2PCcos\theta}} \tag{13}$$

가 된다. 따라서, P점의 전위는 식 (14)와 같다.

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{P} - \frac{1}{\sqrt{P^2 + C^2 + 2PCcos\theta}}) \tag{14}$$

그러므로 EP간의 전위차는 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned} V &= V_1 - V_2 \\ &= \frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{r} - \frac{1}{C} - \frac{1}{P} + \frac{1}{\sqrt{P^2 + C^2 - 2PCcos\theta}}) \end{aligned} \tag{15}$$

전류값 I로 나누면, 접지저항의 측정값 R은 식 (16)과 같다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi r}(1 - \frac{1}{c} - \frac{1}{p} + \frac{1}{\sqrt{p^2 + c^2 - 2pccos\theta}}) \tag{16}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

여기서, $p = P/r$, $c = C/r$, 반구모양 접지전극의 참값은 $R_\infty = \rho/2\pi r$이므로 식 (16)에 대입하면 R은 식 (17)과 같다.

$$R = R_\infty \{1 - (\frac{1}{c} + \frac{1}{p} - \frac{1}{\sqrt{p^2 + c^2 - 2pccos\theta}})\} \tag{17}$$

식 (17)의 중괄호 안의 제2항을 0이라 하면, 측정값과 참값은 식 (18)과 같다.

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{p} - \frac{1}{\sqrt{c^2 + p^2 - 2pccos\theta}} = 0 \tag{18}$$

식 (18)에서 p/c=a로 하여 cosΘ를 구하면 식 (19)와 같다.

$$\cos\theta = \frac{(a^2+1)(a+1)^2 - a^2}{2a(a+1)} \tag{19}$$

식 (19)에서 cosΘ의 최소값을 구하려면 cosΘ를 a로 미분한 값이 식 (20)과 같이 0이 되면 된다.

$$\frac{d}{da} cos\theta = 0 \tag{20}$$

식 (20)으로부터 a=1을 얻는데, 이것을 식 (19)에 대입하면 cosΘ=0.875가 되고 이것으로부터 Θ를 구하면 Θ=28°95′이 된다. 그림 22에 있어서 Θ가 28°95′이 내이면 측정오차를 무시할 수 있는 측정법이 된다. 한편 Θ=0이라 하면 직선모양이 되어 61.8[%]의 법칙에서 언급한 내용과 같아진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

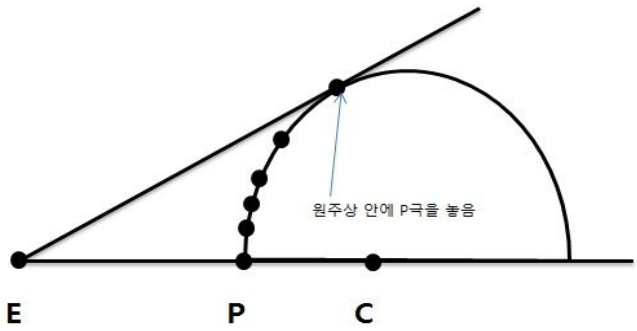


그림 24 측정값을 무시할 수 있는 전위극 P의 배치

각도를 고려하여 전위보조극 P의 적정 배치를 그림23과 같이 할 수 있는데, 원주상 P극을 타설하면 좋은 측정값을 얻을 수 있다. 이와 같다는 것은 E극과 P,C극은 반드시 일직선이 아니어도 이격거리가 원주상의 위치면 오차가 적다는 것을 뜻하고 있다.[11]

3. 접지저항 측정분석

주접지전극에 주입되는 전류가 커질수록 접지전극에 발생되는 전위상승 또한 커진다. 그림 24는 동일 접지전극에 전류가 변화했을 경우 접지전극으로 부터 발생되는 전위상승에 의한 전위간섭영향을 나타낸 것이다.

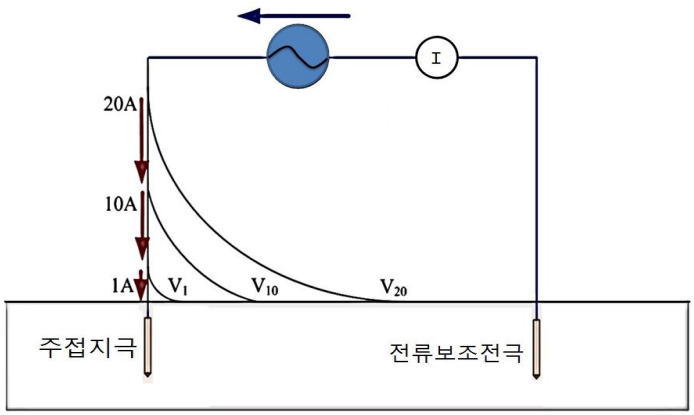


그림 25 전류차에 의한 접지전극의 전위상승 변화

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

현재 국내에 적용된 접지저항측정에 있어서 주접지전극에 인가되는 전류는 20A 이상 대전류가 인가되어야 한다. 그래서 주접지전극과 전류보조전극 사이의 이격거리를 4~5배로 하지 않았을 경우 전위간섭의 영향이 나타난다.

그림 25와 같이 주접지전극과 전류보조전극 사이를 가깝게 투입하여 측정하였을 경우 그림 26과 같이 전위간섭의 영향이 발생한다.[12]

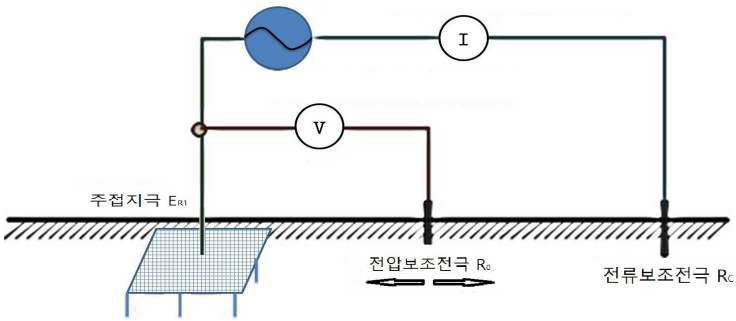


그림 26 전류보조전극이 가까운 위치의 접지저항 측정회로도

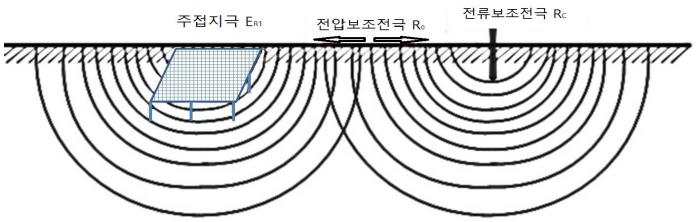


그림 27 전류보조전극이 가까운 위치의 전위간섭 영향

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

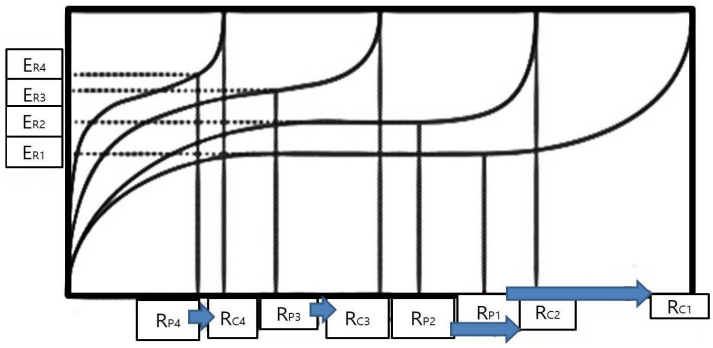


그림 28 전위간섭 영향에 의한 접지 저항값의 변화 패턴

그림 27은 전위간섭에 의한 접지 저항값이 변화하는 패턴을 나타낸 것이다. 전위보조전극의 참값에 영양을 미치는 원인은 2가지로 요약되는데, 먼저 주접지전극에 대전류를 주입해 전기력선의 분포를 넓게 형성시키는 것과 두 번째로 전류보조전극을 전위분포 영향을 받는 범위 내에 타설해 전극간 상호간섭이 발생한다는 것이다. 전위보조전극에서 주접지전극에 의한 전위값 측정을 위해서는 주접지전극에 전류주입을 적게 하고 전류보조전극을 멀리 떨치면 지층에 형성된 지전위를 제외한 두전극 사이의 전위간섭 영향은 없을 것으로 판단했다. 그림 28과 같이 반구상 전극 r의 접지저항을 측정할 때 주변의 대지저항률을 ρ라고 하면 대지를 기준으로 E전극에 전류 I가 흐르고 C전극으로 전류 I가 흘러나간다고 하면 반구상 접지전극의 접지저항은 $\rho/2\pi r[\Omega]$이므로 E전극에 전류 I가 흘러 들어가서 E전극의 전위는 무한원점을 기준으로 $\rho I/2\pi r[V]$만큼 상승한다.

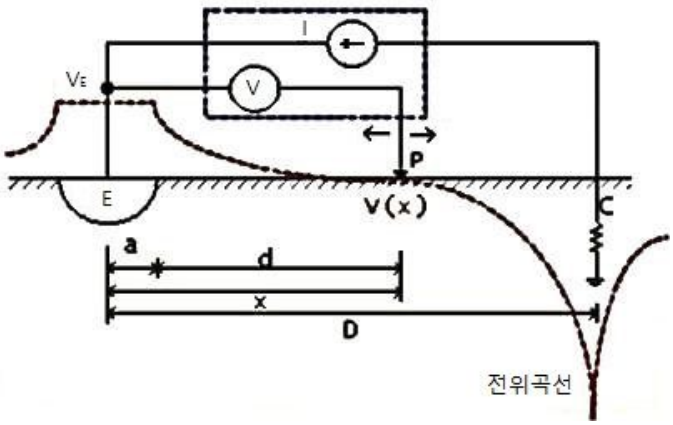


그림 29 반구상 접지저항값

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

여기서 E전극에 투입되는 전류 I에 의한 P점의 전위상승을 계산하면 EP간 거리를 P라 할 때 P점 전위는 ρI/2πP가 되고 EP간의 전위차 V_1은 식 (21)과 같다.

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi r} - \frac{\rho I}{2\pi P} = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P}\right) \tag{21}$$

다음은 C전극에서 유출되는 전류에 의한 EP간 전위차를 구해보면, 먼저 E전극의 전위상승은 -ρI/2πC이고 P극의 전위는 -ρI/2π(C-P)가 된다. 따라서 C전극에서 유출되는 전류에 의한 EP간 전위차 V_2는 식 (22)와 같다.

$$V_2 = \frac{\rho I}{2\pi C} - \left(-\frac{\rho I}{2\pi(C-P)}\right) = -\frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C-P}\right) \tag{22}$$

EP간의 전위차 V는 식 (23)과 같다.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P}\right) \tag{23}$$

식 (23)의 V를 전류 I로 나누어 주면 측정하는 접지저항값 R이 구해지는데 이는 식 (24)와 같다.

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P}\right) \\ &= \frac{\rho}{2\pi r}\left(1 - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} + \frac{1}{c-p}\right) \end{aligned} \tag{24}$$

단, $p = \frac{P}{r}$, $c = \frac{C}{r}$이다. 여기서 ρ/2πr 가 반구상 접지전극의 이론상의 저항값이며 이를 R_∞ 라고 하면 접지저항 측정값은 식 (25)와 같다.

$$R = R_\infty\left\{1 - \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c-p}\right)\right\} \tag{25}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위식의 중괄호 내의 2항은 오차항이고 이것이 0이 될 때 측정값과 실제값이 같아진다. 즉 1/p+ 1/c-1/(c- p)= 0 로 놓고 통분을 하면 p2+ cp-c2= 0 가 나온다. 여기서 p를 변수로 하여 2차 방정식을 풀어보면 p= 0.618c 또는 - 1.618c 가 나오는데 p, c 모두 양의 값으로 p/c= 0.618의 조건이 만족될 때 측정값이 실제값과 같아진다. 즉 접지저항 측정 시 EC간 거리의 61.8%인 곳에 전위전극이 설치되면 이론상 정확한 접지저항값이 얻어질 수 있다. 이론적 측정 해석을 위한 전제조건은 지층 구조가 동일 구조 대지저항률로 형성된 경우에 EC간 거리의 61.8% 지점에서 측정했을 경우 참값이 된다. 그러나 지층구조는 일반적으로 2층 구조이상으로 형성되어 있다. 국내의 경우는 약 92% 이상이 2층 구조로 형성되어 있는 것으로 조사되었다.[13][14]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

V. 결 론

태양광 발전설비의 접지저항 측정을 위하여 사용되는 장비성능은 대규모빌딩, 대규모상가, 공장의 접지전극보다 높은 인가전류와 전위보조전극의 타설위치 및 측정기기 노이즈제거, 고출력의 앰프성능 등이 요구된다.

태양광 발전설비는 초기 투자비용이 많이 요구되므로 상용 전력설비에 비해 발전 단가가 높아지고 일사량에 따라 발전량의 편차가 심하기 때문에 안정된 전력공급을 위해 추가적인 대책방안들이 필요하다. 태양광 발전설비의 규격화와 계통운영 시의 전력품질 문제, 안정적 시스템 운영, 전기안전 문제 등의 고려해야 할 사항들이 많이 있다. 태양광 발전의 접지시스템 운영에 있어서 직류전원, 교류전원의 사용은 접지방식의 운용과 시스템 설계에 있어서 매우 중요한 요소이다. 이것은 접지시스템의 붕괴로 인하여 인명피해 및 설비안정성에 막대한 영향을 줄 수 있다. 특히 규모가 큰 태양광 발전설비 의 대형화와 이 시스템의 운용 등은 전력설비 안정적 운영에 필요한 다양한 보호 장치와 설비로 운용되어야하고, 민감한 설비에 대하여 대규모의 접지시스템 구축과 측정이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 태양광 발전설비의 접지시스템의 설계, 진단기법을 고찰하고 접지저항을 측정하고 표준화된 측정기법을 제안하고자 접지측정에 대한 원리 및 국·내외에 적용되고 있는 측정기법을 태양광 발전시스템에 적용하고자 하였다.

접지저항 측정 시 EC간 거리의 61.8%인 곳에 전위전극이 설치되면 이론상 정확한 접지저항값이 얻어질 수 있다. 이론적 해석을 위한 전제조건 하나는 지층 구조가 동일구조이며 같은 대지저항률이 형성된 경우에 EC간 거리의 61.8% 지점에서 측정했을 경우 참값이 된다. 그러나 지층구조는 일반적으로 2층 구조이상으로 형성되어 있다. 국내의 경우는 약 92% 이상이 2층 구조로 형성되어 있는 것으로 조사되었다.

향후 태양광 발전 설비의 기존의 접지 측정법을 개선한 관련규정의 보완이나 개선이 요구되고 측정결과의 신뢰도를 증가시켜 태양광 발전설비에서 전기안전과 시스템 안정화를 위한 대규모접지전극의 표준화된 기준이나 측정법의 기술적인 대안이 시급히 이루어져야 할 것이라고 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

【참고문헌】

[1] 신재생에너지센터, “신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침”

[2] “국내외 태양광발전 시장 전망”, 하나금융경영연구소, 2010

[3] 임용배외 4, “주거용 직류배전 시스템의 전기안전”, 대한전기학회 전기설비부문회 추계학술대회 논문집, p.12~13, 2010

[4] 조강범, “태양광에너지 적용에 따른 경제적 효과에 관한 연구”, 2011

[5] 최홍규 외, “전력사용시설물 설비 및 설계”, 성안당, 2001

[6] 최홍규 외, “접지설비 및 설계“, 성안당, 2004

[7] 이복희, “접지의 핵심 기초 기술”, 의제, 2000

[8] 최세하, “알기쉬운 접지 실무기술”, 진한도서, 1999

[9] 지식경제부, “전기설비기술기준”, 2012

[10] 국토해양부 외, “건욱전기설비설계기준”, (주)기다리, 2011

[11] R.Thaper, "Simplified Equations for Mesh and step Voltage in an AC Substation." IEEE Transections on Power Delivery, Vol.6, No.2, 1991

[12] 전력연구원, “축소형 변전소 접지효과 증대 방안 연구”, 전력연구원, 1998

[13] 조훈영, “태양광 발전설비의 뇌 보호 및 접지설계기술에 관한연구”, 충남대학교, 2014

[14] 정상문, “태양광 발전설비의 전기안전 확보방안에 관한 연구”, 서울과학기술대학교, 2012

[15] 한운기, “대규모 태양광발전소의 개선된 접지저항 측정기법 연구”, 숭실대학교, 2010

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

석사과정을 신청해서 공부했던 지난 시간 많은 분들의 도움과 격려로 한없이 행복한 시간들 이였습니다. 그동안 학문적인 면에서 또 인생에 있어서 조언과 충고를 아끼지 않은 분들에게 감사의 인사를 드립니다.

광주, 순천간 매주 장거리를 오셔서 제가 석사과정을 수료할 수 있도록 열정적인 강의를 해주시고 논문이 완성되기 까지 도움을 아끼지 않으신 이우선 교수님, 조금배 교수님, 김남훈 교수님, 최효상 교수님, 서길모 교수님, 김철준 교수님, 박채옥 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 올립니다. 그리고 옆에서 묵묵히 지켜봐주고 응원해준 아내 강언주, 딸 서영, 채영 그리고 부모님 외 모든 가족에게도 이글을 통해서 감사를 드립니다.

2015년 12월

문현철 올림

Collection @ chosun