

# 주파수 가변형 과도접지임피던스 모니터링 시스템의 구현에 관한 연구

곽충근\*, 김순식\*, 강민관\*, 최형석\*, 정태훈\*\*, 노대석\*

\*한국기술교육대학교 전기공학과

\*\*한국전기연구원

e-mail:kcg2846@koreatech.ac.kr

## Implementation of Monitoring System for Transient Ground Impedance with Variable Frequency

Chung-Guen Kwak\*, Soon-Sik Kim\*, Min-Kwan Kang\*, Hyoung-Seok Choi\*,  
Tae-Hun Jung\*\*, Dae-Seok Rho\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

\*\*Korea Electrotechnology Research Institute

### 요 약

종래의 접지시스템은 일반적으로 60Hz 대역의 상용전원계통 고장사고에 대한 관점에서 지락 또는 단락사고 시 인체의 감전사고 예방 및 설비보호 측면에서 고려되어 왔으나, 최근 신재생에너지 및 스마트그리드 등이 혼재된 분산형 전원의 증가 및 전력품질에 대한 기대 수준의 향상으로 접지시스템의 재검토가 필요한 상황이다. 수용가 및 산업현장에서는 낙뢰, 서지 등 과도상태에서 피해가 증가하고 전기·전자설비의 정상적인 동작상태 확보 관점에서 상용주파수 외에 고주파 대역에서의 접지임피던스를 측정하고 과도 현상에 대한 응답특성 분석 기술이 요구되고 있다. 접지시스템은 시공 후 수십년 이상 교체나 보강공사 없이 사용되는 경우가 대부분으로, 유지 관리를 위한 검증 장비 및 모니터링 기기가 필요한 상황으로, 본 논문에서는 운전중인 설비의 보폭전압 및 접촉전압 측정·정상상태 및 과도상태의 접지임피던스를 측정·분석하고 모니터링 할 수 있는 접지시스템을 제안한다. 본 연구에서 제시한 주파수 가변형 과도접지임피던스 모니터링시스템을 기반으로 안정성평가를 수행한 결과, 접지시스템 및 계통의 안전성 향상에 기여함을 알 수 있었다.

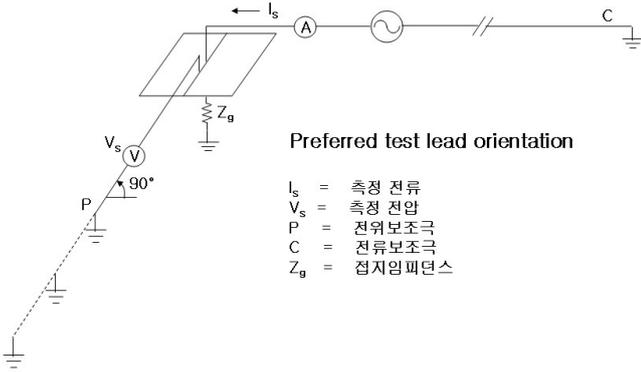
### 1. 서 론

전력계통의 안전성 측면서 접지시스템은 중요한 부분을 차지하며, 접지는 기본적으로 각종 설비, 구조체 등을 도체에 의해 대지와 전기적으로 접속하는 것으로 도전성이 있는 대면적의 물체를 전위의 기준으로 취하는 기술적 방식을 의미한다. 접지 설계에서 대지를 대상으로 하는 접지극 설계인지 또는 건물 공간에 있어서의 접지시스템 설계인지를 구별하여야 하며, 접지극 설계는 감전보호와 뇌보호의 기술적 조건인 접지저항, 전위분포, 전위경도 등을 고려하여야 한다. 접지시스템 설계는 기능접지의 기술적 조건인 전위의 기준점 확보의 개념, EMC 대책, 등전위 본딩의 시공 등을 고려하고, 다양한 전기·정보통신기기가 도입되어 있는 건물, 공장 등에 있어서의 접지설계에는 접지를 시스템적으로 파악하는 것이 중요하며, 오늘날과 같은 전기·전자기술의 발달에 따른 전기적 민감도가 높은 설비에 대한 접지설계를 계획할 때에는 접지의 목적에 맞는 효과적인 접지를 실시하기 위해, 접지극시스템과 접지시스템 양쪽의 설계시스템을 구축하여야 한다. 본 논문에서는 접지극시스템과 접지시스템의 정상상태 감시 및 접지저항 및 고주파수 대역의 접지임피던스를 측정하여 접지

시스템의 안정성을 평가하여 주파수 가변형 과도접지임피던스 측정시스템, 접지상태 관리를 위한 유무선 모니터링 시스템, 접지시스템의 안전성 평가를 위한 위험전압 측정시스템에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 접지저항의 측정 원리

일반적으로, 소규모 접지전극에서는 60[Hz] 정도의 주파수를 가지는 측정전류를 인가할 경우 측정전류와 접지전위의 파형이 동위상을 가지며, 저항 성분이 주를 이루기 때문에 일반적으로 접지저항으로 나타나게 된다. 하지만, 접지전극의 규모가 대단히 크거나 측정전류의 주파수가 높아지게 되면 측정전류와 접지전위 파형에서 위상차가 발생하여 접지저항으로 나타나게 되며, 그림 1은 접지시스템의 저항 측정방법을 나타낸 것으로 접지시스템과 전류보조전극 사이의 측정전류  $I_s$ 와, 접지시스템과 전위보조전극 사이의 접지전위를 측정하여 접지저항을 산출한다. 이 방법은 접지저항과 더불어 접지시스템에 있어서 전류 분류, 설비와 병렬 연결된 상호 저항, 보폭전압, 접촉전압 등의 측정도 가능하다.

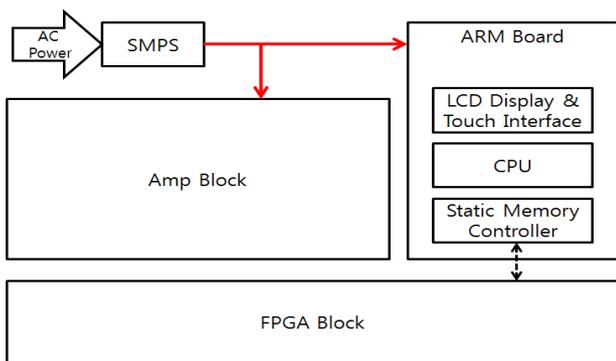


[그림 1] 접지시스템의 저항 측정

### 3. 주파수 가변형 과도접지임피던스 모니터링 시스템의 구현

#### 3.1 시험전원용 Active Power Module의 구현

주파수 가변을 통한 과도접지임피던스 측정을 위해 접지시스템에 고주파 전류를 인가하여야 하며, 시험전원용 Active Power Modul의 전원소스를 구현하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 이 시스템은 크게 ARM 프로세서 기반의 제어기와 신호처리용 AMP 보드 및 고주파 신호를 생성하기 위한 고속 연산용 FPGA(Field Programmable Gate Array) 블록으로 구성되며, ARM 프로세서 기반의 제어보드는 연산 및 제어를 위한 메인 마이크로프로세서를 탑재하고 LCD 표시장치 및 입력 인터페이스를 담당한다. 전원소스 장치는 사인파형을 발생시키는 장비로 주파수 및 전압의 크기를 가변 할 수 있도록 설계하며, 장치의 내부는 Interface를 통하여 ARM보드에서 FPGA 보드로 지령을 내릴 수 있도록 구성된다.

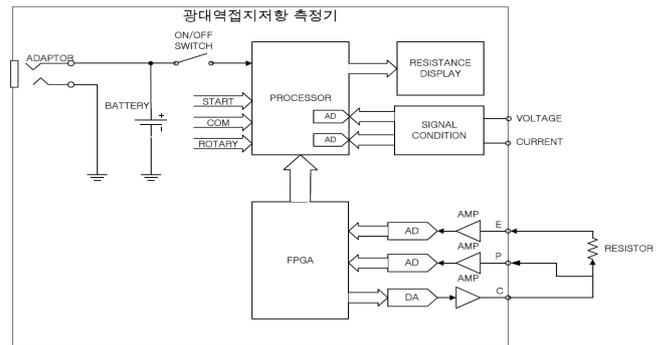


[그림 2] Active Power Source 구성도

#### 3.2 접지임피던스 측정기의 구현

접지임피던스 측정기는 그림 3과 같이 마이크로프로세서 제어기 및 인가전류 소스, 전압·전류 측정용 DAQ부, 통신용 포트 등으로 구성된다. 이 장치는 접지임피던스 측정 외에 접지선에 발생하는 전압 및 전류를 측정하는 기능을 포함한다. 또한, 접지임피던스 측정 방식은 3전극을 이용한 전위강하법

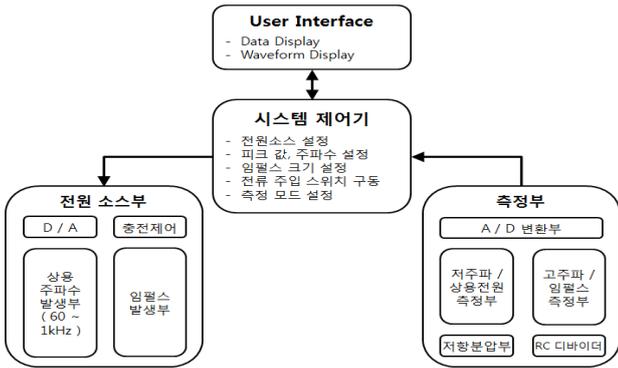
으로 측정되도록 설계하고, 주파수를 가변하여 고주파 영역에서도 개별적인 측정이 가능하도록 구성된다. 한편, 주요 구성은 Active power source 설계 시 사용된 FPGA 회로를 기본으로 보드화 설계를 수행하고, 내부에 고주파 신호를 생성할 수 있도록 DA 컨버팅 프로그램을 구현한다. 특히, 측정 시 발생하는 노이즈 제거 및 고주파 대역에서 전압, 전류의 위상차 판별 등을 개선하기 위해 CIC(Cascaded Integrator Comb) 필터, FIR(Finite Impulse Response)필터 등을 FPGA IC를 이용하여 하드웨어적으로 설계한다.



[그림 3] 접지임피던스 측정기 시스템 구성도

#### 3.3 과도 임피던스 측정시스템 구현

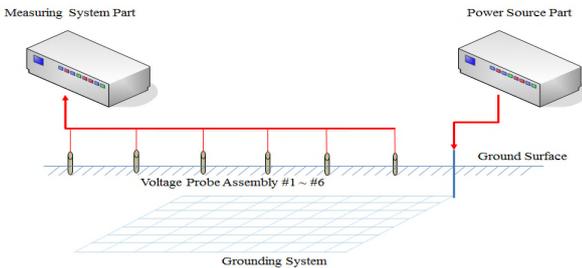
전압 측정부는 그림 4에 나타난 바와 같이 상용주파수 전류에 따른 전압을 입력받아 저압 저주파 분압기를 통해 전위 상승 전압을 측정하는 상용주파수 전위 상승 측정부와, 임펄스 전류에 따른 전압을 입력받아 고압 고주파 디바이더를 통해 상기 전위 상승 전압을 측정하는 임펄스 전위 상승 측정부로 구성하였다. 전압측정부에서도 접지시스템으로부터 상용주파수전류와 임펄스전류에 따른 전위상승전압 모두를 선택적으로 측정할 수 있으며, 전압측정부에는 상용주파수 전위 상승 측정부 또는 임펄스 전위 상승 측정부에서 측정된 전위 상승 전압을 디지털 신호로 변환하여 시스템 제어부로 전송하는 아날로그/디지털변환부가 포함한다. 시스템 제어부는 전원 소스부와 전압 측정부를 제어하고 전압 측정부에서 측정된 전위 상승 전압을 입력받는 것으로 이를 통해 접촉전압과 보폭전압 등의 위험전압을 산출하고, 이때 시스템 제어부에는 전압 측정부가 상용주파수 전류에 대한 전위 상승 전압을 측정할 것인지 또는 임펄스 전류에 대한 전위 상승 전압을 측정할 것인지를 설정하는 측정모드 설정부와, 전원 소스부가 상용주파수 전류를 발생시킬 것인지 또는 임펄스 전류가 발생시킬 것인지를 설정하는 전원소스 설정부와, 전원 소스부에서 발생하는 상용주파수 전류의 주파수와 피크 또는 임펄스 전류의 임펄스 크기를 설정하는 전원세기 설정부를 포함하였다.



[그림 4] 상용주파수 및 임펄스 복합형 측정시스템 구성도

### 3.4 접지시스템의 안전성 평가방안

위험전압 측정시스템은 발전소, 변전소, 대형 플랜트, 수도 및 가스 사업장, 건축 구조물 등의 전력설비에 설치되는 접지시스템의 이상 유무를 진단하여 적합성 여부를 판단하기 위한 것이다. 이는 접지시스템의 유실이나 단선 등 이상상황은 물론 낙뢰, 서지 등에 의한 이상상황 발생에 의해 급격히 변화된 접지시스템의 이상 유무를 진단하고 적합성 여부를 평가가 가능하며 현장에서 용이하게 적용 가능하도록 하였고, 상용주파수 전류에 따른 전위 상승뿐만 아니라 가변 주파수 전류에 따른 전위상승도 측정할 수 있도록 구성하였다. 위험전압 측정시스템은 그림 5와 같이 전원소스부와 전압측정부로 구성되며 사용 중 발생하는 유도전압 등에 의해 각종 신호 및 통신장비의 오동작이 유발될 수 있으며, 이와 같은 유도전압 및 노이즈로부터 장비를 안정적으로 운용하기 위해서는 각 장치별 용도에 맞는 서지 보호 장치 및 노이즈 필터를 이용하여 안정화 시키거나, 안정적인 접지 시스템을 통해 각 장치로 유도되는 노이즈 성분을 기기 프레임 또는 제어시스템의 금속 함체에 접지시킴으로써 예방할 수 있다.



[그림 5] 위험전압 측정시스템

전원소스부는 접지시스템에 시험전류를 인가하기 위한 전류원 소스로 주파수를 가변 할 수 있도록 인버터 형태로 구성하였고, 전위상승 측정시스템은 접지시스템의 지표면상에서 전류 유입에 따라 발생하는 전위상승을 다채널로 측정하기 위한 것으로 다채널용 측정 장치를 구성하였다. 또한, 전원소스로 뇌격전류를 모의한 임펄스 전류를 사용할 수도 있으나

이는 인가전류 크기에 따라 구성이 방대하고 비용적인 측면도 고려하여야 하므로, 1kHz까지 주파수가 가변되는 인버터 형태의 전원소스를 사용하였다.

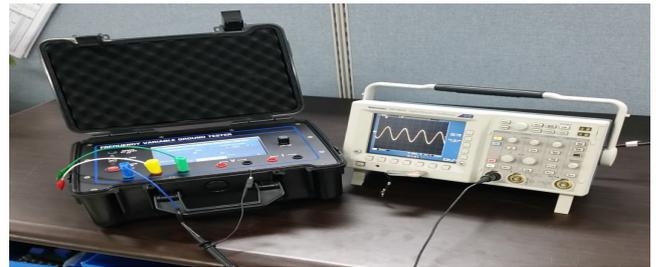
## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 시험조건

본 논문에서 구현한 접지임피던스 측정장치의 성능을 평가하기 위한 시험조건은 접지시스템에 전류를 주입하기 위한 시험전압, 주파수 및 저항을 가변시키도록 표 1과 같이 설정한다. 또한, 접지임피던스 측정장치의 출력파형 시험 외관은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

[표 1] 구현한 장치의 성능평가를 위한 시험조건

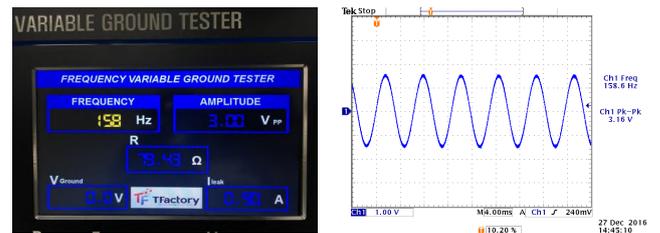
항 목	가변범위	고정조건
주파수 가변	158Hz ~ 1MHz	3V, 79.4Ω
전압가변	3V ~ 24V	1kHz, 79.4Ω
저항가변	1.2Ω ~ 10kΩ	10kHz, 3V



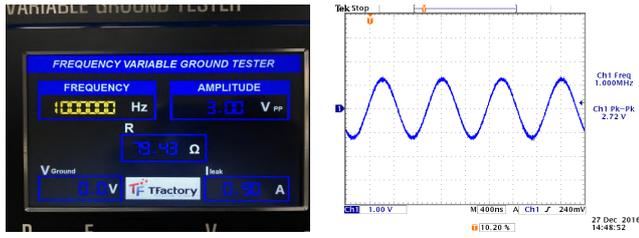
[그림 6] 측정기 출력파형 측정 실험

### 4.2 접지임피던스 측정기 출력특성

상기의 시험조건을 바탕으로 접지시스템에 전류를 주입하기 위한 시험전압 파형의 출력을 주파수를 가변시키며 측정 한 결과는 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 6(a)는 접지임피던스 측정기의 설정화면이고, 그림 6(b)는 오실로스코프로 측정된 시험전압 파형을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 구현한 장치를 바탕으로 측정 한 결과 가변한 주파수의 설정값과 동일한 주파수를 갖는 정현파 파형이 발생함을 알 수 있었다.

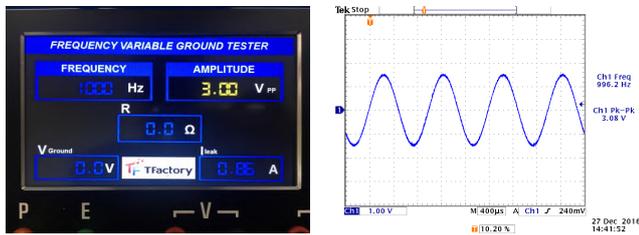


(a) 출력전압 주파수 158 Hz

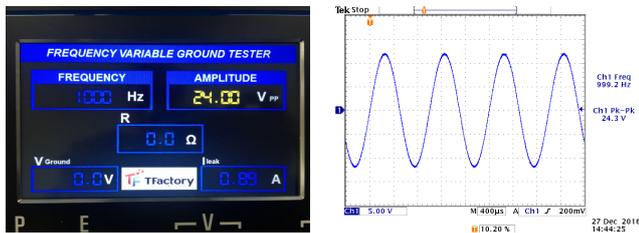


(b) 출력전압 주파수 1 MHz  
[그림 7] 주파수별 출력파형

또한, 시험전압을 3V에서 24V까지 가변시킨 경우에 대한 측정 결과는 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 시험전압의 설정값과 임피던스측정기에서 출력된 전압값이 거의 일치하는 것을 알 수 있었다.



(a) 출력전압 3 V



(b) 출력전압 24 V  
[그림 8] 전압 크기별 출력파형

한편, 본 논문에서 구현한 접지임피던스 측정기의 성능을 비교 및 평가하기 위하여, 일반적으로 널리 사용 중인 상용 제품과의 비교시험을 수행한 결과를 나타내면 표 2와 같다. 이 표에서와 같이, 저항을 1.2Ω에서 10kΩ까지 가변시키며 측정된 결과, 제작품의 경우 상용품보다 측정범위가 넓어 10kΩ 까지도 측정이 가능하며, 전 범위에서 양호한 특성을 가지는 것을 확인하였다.

[표 2] 접지저항 측정 결과

저항값 [Ω]	과도임피던스 접지저항기[V]	오차율 [%]	상용 접지저항기[V]	오차율 [%]
1.2	1.185	1.25	1.23	2.5
10	10.1	1	10	0
100.6	100.5	0.1	100	0.6
1003	999.9	0.3	1000	0.3
9.97k	10019	0.5	Over Range	

## 5. 결 론

본 논문에서는 주파수 가변형 과도접지임피던스 측정시스템 및 모니터링 시스템을 구현하고, 운전중인 설비의 보폭전압 및 접촉전압 측정·정상상태 및 과도상태의 접지임피던스를 측정·분석하고 모니터링 할 수 있는 접지시스템을 제안하였다. 최적의 접지 시스템은 인체의 안전뿐만 아니라 운용설비의 보호측면에서도 매우 중요한 요소이며, 각 요소별 모니터링을 통한 안정성 평가 및 데이터를 제공하기 위한 목적으로 접지 전위 모니터링 장치를 실증 시험한 결과 전력계통의 안정도 및 접지시스템 안전성 향상에 유용함을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] KWang-Muk Park, Jae-Hyun Kim, Jin-Yeong Park, Sun-Bae Bang, "A Study on the Fire Risk of ESS through Fire Status and Field Investigation", KIFSE, Vol.32, No. 6, pp. 91-99, 2018
- [2] 김기현, "다양한 용도로 사용되는 전기저장장치의 전기설비기술기준 제·개정 현황", 조명·전기설비 제31권 제4호 pp. 3-8, 2017.07
- [3] IEC TS 62933-3-1, "Electrical energy storage(EES) systems-Part3-1 : Planning and performance assessment of electrical energy storage systems -General specification.