

# 인공고장 발생장치(AFG)를 이용한 지락고장 실증시험

(The field-test for single line-to-ground fault by an artificial fault generator)

최선규\* · 김동명 · 강문호

(Sun-Kyu Choi\* · Dong-Myung Kim · Moon-Ho Kang)

## Abstract

This paper introduced an artificial fault generator which was operated in the Go-Chang field-test center and explained the result of single line-to-ground fault by AFG. The AFG can basically experiment line-to-line and line-to-ground faults. This facility directly connected distribution transmission lines, so the test results are very useful for power system analysis and protection. Using the function of the AFG, we briefly said the test methods and results for the 22.9[kV-y] and 6.6[kV-Δ] system.

## 1. 서론

인공고장 발생장치(artificial fault generator, 이하 AFG)는 일종의 단락설비로 전력계통의 종합적인 기술이 집약되는 장비이며, 선진외국의 몇몇 전력회사와 연구소에서 개발하여 운영하고 있으나 기술이전의 어려움이 있고 또한 국내의 배전계통에 적용하는 것이 불가하므로 우리의 현실에 적합한 장치의 개발이 절실히 요구되고 있다.

인공고장 발생장치(AFG)는 배전선로에서 발생하는 다양한 고장 현상을 실험실의 시험 방법이 아닌 실제 22.9kV-y 배전선로에 직접 시험할 수 있는 장비이다. 실증시험을 수행하기 위해 인위적으로 임의의 고장을 발생, 제거 및 고장현상의 측정, 기록이 가능하며 중앙 통제소(조종실)에서 상태의 감시가 가능하도록 제작된 첨단 장비이다.[1]

본 논문에서는 현재 한전 전력연구원 고장 전력시험 센터에서 운용중인 AFG를 활용하여 22.9[kV-y] 시험선로에서 1선 지락고장에 의한 통신선 유도 장애 시험 방법 및 결과와 6.6[kV-Δ] 선로에서의 지락고장에 의한 자동화 기기의 동작특성 실증시험에 대하여 간략히 설명하였다.

## 2. AFG 개요

인공고장 발생장치는 22.9[kV-y] 배전선로에서 발생할 수 있는 단락 및 지락 고장에 대한 현상 규명과 이에 대한 계통의 보호협조 시험 등을 위하여 고장위상, 고장전류, 고장종류, 고장시간 등의 인위적인 임의조건

을 선택하여 고장을 발생 및 제거시키며, 이때의 고장 현상을 측정하고 기록함으로써 사고결과 분석을 위한 데이터 제공이 가능한 설비이다.(그림 1)

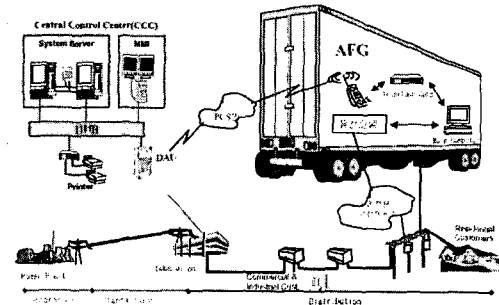


그림 1 AFG의 기본 개요  
Fig.1. Basic outline of AFG

### 2.1 장치의 구성

AFG는 배전시험선로 연결용 케이블 조작장치, 투입 스위치(Making SW)와 후비 보호차단기(Back-up Breaker), 인입 개폐기(Lead-in LBS), 단로기, 피뢰기, 고장점 임피던스 조정기 등으로 구성되는 고전압 설비부, Sequence Timer(PLC)와 투입위상 제어장치, 그리고 조작 제어판넬 등으로 구성되는 제어부, 측정 기록 장치(Fault Recorder), 통신 장치와 중앙 컴퓨터(Central Control System)로 구성되는 중앙 제어감시부가 있다.

AFG의 내부 구성도는 그림 2와 같다. 구성 기기들은 고장의 발생과 제거 동작의 수행 순간에는 현상의 분석과 보존을 위해 측정 및 기록장치가 오차 없이 동작되어야 한다. 또한 고장 발생의 전·후에는 각 기기동작 이상 유·무를 확인할 수 있는 감시가 가능하여야 한다.[2]

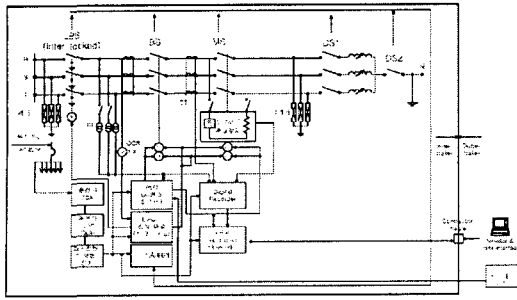


그림 2 AFG의 내부 구성도  
Fig.2. Inside diagram of AFG

## 2.2 구성 기기의 기능

2.1. 절에서 언급된 일련의 동작을 수행하기 위해서는 다음과 같은 기능이 요구된다.

### 2.2.1 선로 절체 기능

고장 발생을 위해서는 배전선로(가공, 지중)로부터 AFG 내 별도의 선로연결용 케이블을 연결할 수 있어야 한다. 이와같은 선로 연결용 케이블 조작장치는 선로의 지상고 및 안전성 등을 고려하여 사용이 편리하도록 제작되었다.

### 2.2.2 고장종류 모의 기능

AFG 회로 후단의 단로기를 조작하여 발생시키고자 하는 고장(1선 지락, 선간단락, 3상단락)을 임의의 선태하여 모의 할 수 있는 기능이 있다.

### 2.2.3 고장 제어 기능

임의의 설정 시간에 의한 고장 지속시간 제어와 설정된 시간에 각 스위치를 자동 순차 동작시켜 고장을 제거하는 고장 제거기능 및 고장 전류의 피크치(Peak-value) 제어를 위한 고장 위상제어가 가능하다.

### 2.2.4 고장현상 측정 및 기록 기능

고장 발생 시 각 상의 전압, 전류, 영상전압 및 전류의 과도값, 정상값 그리고 고장 발생시간, 투입위상 등의 정보를 고장 기록계(Fault Recorder)에 의하여 측정하고 기록함으로써 현상분석과 규명이 가능하도록 되어 있다.

### 2.2.5 감시 기능

전원장치, 제어장치 및 스위치 등 모든 기기의 동작 및 전원상태는 감시 판넬에 표시되어 감시가 가능하며, 중앙 컴퓨터의 3선도에서도 동시에 감시와 제어가 가능하다.(그림 3)

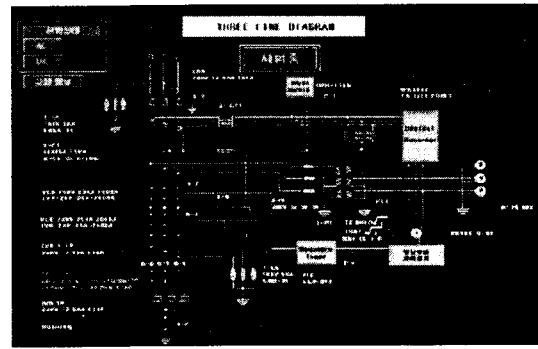


그림 3 중앙 컴퓨터의 3선도  
Fig.3. Three lines diagram of central computer

## 2.3 AFG의 주요 사양

- 1) 정격 전압 : 24[kV]
- 2) 정격 전류 : 600[A]
- 3) 정격 단시간 전류 : 12.5[kA]
- 4) 정격 최대 전류 : 32.5[kA]
- 5) 절연레벨
  - 상용주파 : 50[kV], 1[min].
  - 뇌과전압 : 125[kV](1.2/50[μs])
- 6) 정격주파수 : 60[Hz]

## 3. 실증 시험선로

그림 4와 같이 실증 시험선로는 22.9[kV-y] 배전계통을 실선로와 똑같이 구성하기 위해 98본의 전주로 구성된 8[km] (4[km], 2단선로)의 선로와 각종 개폐기, 차단기들로 구성되어 있다.[3]

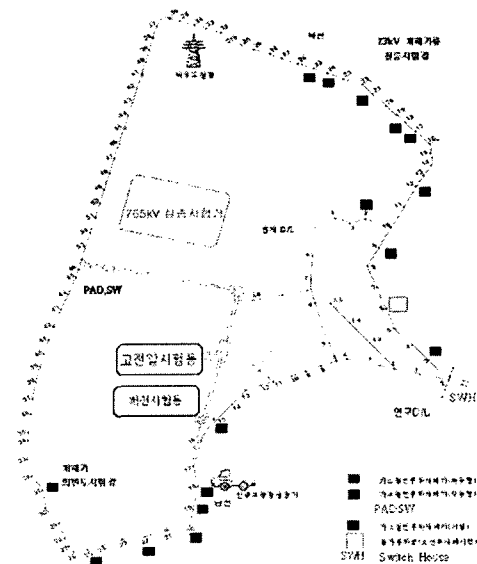


그림 4 실증시험 선로 구성  
Fig. 4. The field-test system

#### 4. 1선 지락고장에 의한 대지전위 상승 실증시험

##### 4.1 시험 선로 조건(그림 5)

- 1) 모든 구간에 가공지선 설치
- 2) 중성선과 가공지선은 매 전주에서 상호 접속
- 3) 중성선 다중접지 : 중성선 접지저항 5[Ω/km]이하
- 4) 내외 접지 : 가공지선은 200[m] 이내마다 50[Ω] 이하로 접지

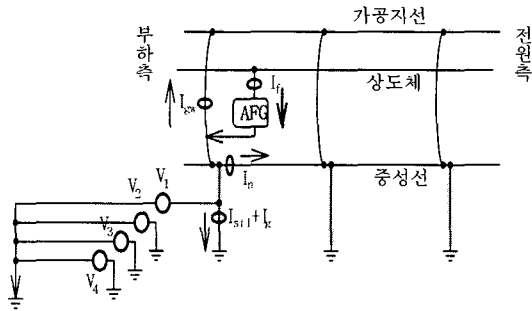


그림 5 실증시험 선로 구성 및 측정  
Fig. 5. Composition and Measurement of test lines

##### 4.2 측정 대상 조건

- (1) 중성선 접지저항 65[Ω]인 경우
- (2) 중성선 접지저항 39[Ω]인 경우

##### 4.3 측정 대상

- (1) 1선 지락고장 전류
- (2) 귀로 전류 : 중성선 전류, 가공지선 전류, 대지 유입전류(접지선, 전주)
- (3) 고장점 주변 대지전위 상승

##### 4.4 측정 결과

그림 6은 AFG의 고장기록계에 측정된 선로 전압과 지락고장 시 전류의 파형을 나타내고 있다. 또한, 그림 7은 고장 전류가 대지로 유입되었을 때 기준 접지점에 대한 대지 전위 상승 파형을 보여준다.

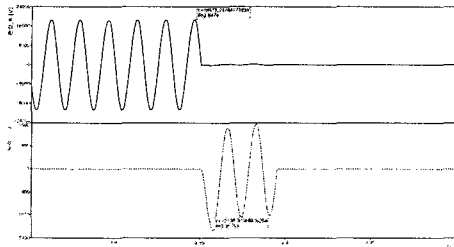


그림 6 1선 지락고장 전류(AFG 측정)  
Fig. 6. Single line-to-ground current(AFG)

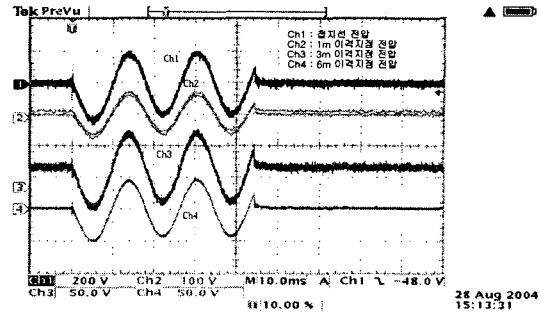


그림 7 대지 전위 상승(예)  
Fig. 7. Voltage rising on the ground(example)

지락 고장에 의한 고장전류 및 대지 유입전류를 표 1에 정리하였다. 또한 기준 접지점에 대한 대지전위 상승 값을 거리에 따라 측정하고 그 값을 기록하였다.

표 1 고장전류 대지유입과 대지전위 상승  
Table. 1. Inflow & Voltage rising on the ground

순번	Case 개요	[1]고장 전류 [A]	[2] 대지 유입 전류[A]	[3] 대지 유입률	전위 상승 [V]				비고
					접지	1m	3m	6m	
1	Rg:65 Xs:0	(2,138)	미측정	-	240	70	65	50	
2	Rg:65 Xs:0	2,066 (2,112)	16.3 (7.5)	0.8% (0.4%)	240	70	65	50	
3	Rg:39 Xs:0	2,100 (2,135)	25 (10)	1.2% (0.5%)	240	96	70	53	

Rg[Ω] : 중성선 접지저항  
Xs[Ω] : 직렬 리액턴스  
[1] : PEM 측정치(AFG 측정치)  
[2] : 접지선전류+전주전류, ( )내는 접지선만의 전류  
[3] : 접지선전류+전주전류의 고장전류에 대한 비율, ( )내는 접지선 전류만의 고장전류에 대한 비율

##### 4.5 결과 분석

고장이 발생한 전주 부근의 대지전위 상승은 “전력유도의 구체적 산출방법에 대한 기술기준”의 계산식(식 1)에서처럼 전류 유입점으로 부터의 거리 D에 반비례하지 않고, 거리에 따른 감소비율이 더 작게 나타났다.

$$V_D = \frac{\rho I}{2\pi D} [V] \quad (1)$$

여기서,

$V_D$  : 통신설비 접지의 유도전위 [V]

$\rho$  : 대지 고유저항 [Ωm]

$D$  : 전력선 접지와 통신설비 접지와의 이격거리 [m]

$I$  : 전류 유입점에서의 유입전류 [A]

이는 대지 유입전류의 분포가 계산식에서와 같이 방사상의 고른 분포를 나타내지 않기 때문인 것으로 추정되며,

- 1) 봉접지의 형태
- 2) 전주(철근)를 통한 대지 유입전류 존재에 의한 영향
- 3) 전주와 봉접지의 이격(50[cm] 이상)

등이 지중의 전류분포에 영향을 미치는 것으로 추정된다. 따라서, 실증선로와 같은 구조와 구성을 갖고 있는 실제 가공배전선로에서, 가장 흔하고 가혹한 경우에 해당하는 중성선 혼축(애자 절연과피에 의한 고장)이 발생한 경우, 접촉전압과 보폭전압은 정보통신부에서 제시하는 식에 비해 훨씬 낮게 될 것으로 예상된다.

## 5. 비접지 계통 지락고장 처리기법 실증시험

### 5.1 시험 선로 조건(그림 8)

#### 1) 비접지 선로구성

전력용변압기를 이용하여 다중 접지 계통을 비접지 계통으로 변경

#### 2) ZCT 내장형 개폐기 설치

- 설치장소 : 시험선로 북선18, 남선24, 남선 29호
- 설치장소 선택 시 고려사항  
신호전송 처리가 곤란하므로 RS-232C로 Event 수신받기 위하여 차량이동이 편리한 개소에 개폐기 설치
- 알고리즘 구현을 위하여 ZCT내장형 개폐기용 FRTU의 펌웨어 수정 및 설정치 setting.
- FRTU의 FI발생조건 설정치  
Io : 50[mA]이상, Vo : Va의 10[%]이상, Vo와 Io의 위상차 : 60[°]이상, 고장지속시간 : 2초이상

#### 3) GPT 설치(1φ 3대)

시험선로를 이용하여 전력용변압기 2차측 직하에 설치(케이블 규격 : 6.6[kV] CV38[mm] × 3조)하였으며, 비접지 선로로 전환시에만 송전되도록 조치.

시험유형 4

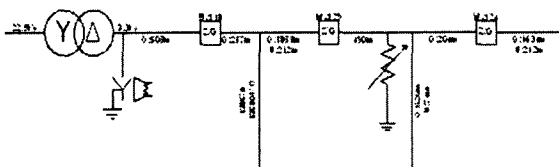


그림 8 실증시험 선로 구성  
Fig. 8. Composition of test line

### 5.2 측정 결과 분석

비접지 계통에서의 지락고장에 의한 고장전류를 이론적인 계산식에 의해 계산된 값과 실측된 값을 표 2에 제시하였다. 표에서 볼 수 있듯이 두 값에 대해 발생되

는 오차의 원인은 다음과 같이 판단된다.

#### 1) ZCT 자체오차에 의한 오차

측정대상인 영상전류의 크기가 매우 작고, ZCT 자체 오차에 의하여 오차 발생

#### 2) 선로의 충전용량의 부정확

선로정수를 집중정수로 산정하여 실제 선로의 충전용량과 차이 발생

표 2 고장 시 계측값과 비교

Table. 2. Comparing data during fault

구분	북선 18		남선 29		남선 24		비고
	계산	실측	계산	실측	계산	실측	
Va		181		193		204	
Vb		3,355		3,454		3,318	
Vc		3,355		3,453		3,381	
Vo	1,899	2,063	1,899	2,100	1,899	2,070	
Io	190 ∠ 3	11 ∠ 233	333 ∠ 55	257 ∠ 93	200 ∠ 90	184 ∠ 97	

Vo[V] : 영상전압, Io[mA] : 영상전류

## 6 결론

본 논문에서는 한전 전력연구원의 고장 전력시험센터에서 운용되고 있는 인공고장 발생장치(Artificial Fault Generator)를 이용한 실증시험의 예를 통하여 본 장치의 유용성 및 활용 가능성에 대하여 논하였다. 실증시험의 결과에 대해서는 향후 추가 시험을 통해 검증하고 보완할 예정이다. 또한 본 장치를 활용하여 지락고장에 의한 배전선로의 영향뿐만 아니라 배전 기자재의 성능 및 운용에 관련된 실증시험을 통해 실질적인 자료를 확보하여 활용함으로써 제품의 성능 향상에 기여하고자 한다.

## 참고 문헌

- (1) 안상호, 정영호, 한용희 외, 인공고장 발생장치의 개발을 위한 고장발생 및 제거 알고리즘 개발과 EMTP 해석(1), 대한전기학회 하계학술논문집, 1999.
- (2) LG산전, 인공고장 발생장치 사용자 매뉴얼, 2000.
- (3) KEPSCO, KEPCO, Construction of Field-Test Evaluation system for 23kV switchgear, Technical Memo, 2003.
- (4) IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear Part 100 : High-voltage alternating-current circuit-breaker, 2001