

## 배전계통 고장모의시험 및 실시간 계통 시뮬레이터를 이용한 FRTU 시험

권성철\*, 신창훈, 박신열, 하복남, 박소영  
 한전 전력연구원 배전연구소 배전IT그룹

### Simulation of Distribution network using Real-time Simulator and Testing FRTU

Kwon Seongchul, Shin Changhoon, Park Sinyeol, Ha Boknam, Park Soyoung  
 Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

**Abstract** - 본 논문은 계통 모의시험프로그램을 이용하여 배전계통에서 나타나는 지락 및 단락고장에 대하여 모의시험을 수행하였다. 고장모의시험에서 배전자동화용 개폐기의 고장인지(Fault Indicator)의 동작에 영향을 미치는 고장전류의 변화를 살펴보았다. 그리고, 이러한 고장전류를 감지하여 FI를 배전자동화 시스템 주장치로 보내어주는 FRTU의 정상동작 시험을 위하여 실시간 계통 시뮬레이터를 이용하여 FRTU의 시험방법을 제안하였다.

#### 1. 서 론

현재 한전의 배전계통에서는 여러 가지 자동화 기기가 설치되어 배전자동화시스템을 운영중에 있다. 배전자동화시스템에서의 FRTU에서 고장을 감지하면 FI(Fault Indicator)를 주장치로 보내주어 해당 FRTU가 설치된 배전선로에 고장이 발생하였다는 것을 운영자에게 알려주게 된다. FRTU에서 고장발생을 인지하는 방법은 설정된 고장전류 Pick-up값 이상의 전류가 감지되고, 그후 무전압이 감지되는 2가지 조건이 만족되어야 한다. 그러나, 고장이 발생한 구간이 아닌 선로에서 종종 FI가 발생하여 운영자의 혼란을 야기시켜 자동화용 개폐기의 오작동을 발생시킬수 있다.

따라서 본 논문에서는 계통 모의시험프로그램을 이용하여 배전선로에서 발생하는 고장에 대한 모의를 하였고, 이러한 고장이 발생하였을 경우 각 배전선로에서의 전압, 전류의 변동을 살펴보았다. 선로고장은 배전선로에 설치된 지상변압기 1차측 및 2차측에서 지락고장 및 단락고장이 발생한 상황을 모의하였다. 그리고, FRTU에 대하여 실시간 계통시뮬레이터를 이용하여 FRTU를 시험하는 방법을 제안하였고, 실제 전압, 전류에 대한 FRTU의 감지능력을 관측하고, 이를 통하여 FRTU의 FI 인지와 고장파형 인지도 동작상태를 시험하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 FRTU 계측 정밀도 시험

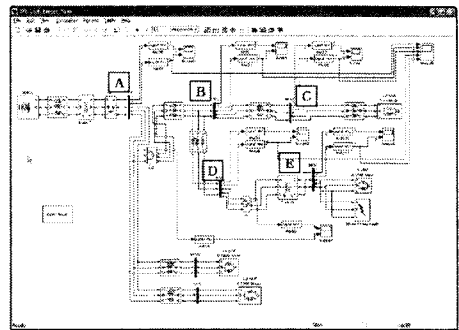
배전계통 고장모의시험에 앞서 FRTU의 계측 정밀도를 측정하였다. FRTU의 계측 정밀도 기준은 한전요구 사항은  $\pm 3\%$ (혹은  $\pm 1A$ )이고, 납품은  $\pm 1\%$ 이다. 한전에서 요구하는 계측 범위는 전류의 경우 600A까지 계측 정밀도 유지를 요구하고 있으나 본 시험에서는 전체 범위인 10,000A까지로 하였다. 각 전압입력은 2/4/6V (즉 계측 전압은 6.6/13.2/19.8kV), 전류입력은 0.02 /0.1 /0.4/ 0.6 /1.0 /5.0 /10.0A (계측전류는 20 /100 /400 /600/ 1000 /5,000 /10,000A)로 나누어 시험하였다. 참고로 FRTU의 전압,전류 입력 수준은 기기의 CT, PT로 결정되는 데, 개폐기에서는 CT 1000:1, PT 13200:4 (3300:1)을 사용한다. 계측 최대 전압, 전류는 각각 200kV,

10,000A이다.

전압 계측 정밀도 시험에서는 입력전압을 2/4/6V(혹은 6.6/13.2/19.8kV)로 변경해가면서 FRTU에서 계측되는 전압을 관측하여 계측 오차를 측정하였다. 각 입력전압에서 입력 전류는 400A(0.4A)로 설정을 하였다. 실험결과 FRTU 전압계측 오차는 1%내에 들어가는 것을 확인할 수 있었다. 전류 계측 정밀도 시험에서는 입력전압을 0.02/0.1/0.4/0.6/1.0/5.0/10A (계측 전류는 20/100/400/600/1,000/5,000/10,000A)로 변경해가면서 FRTU에서 계측되는 전류를 관측하여 계측 오차를 측정하였다. 각 입력전류에서 입력 전압은 4V(13.2kV)로 설정을 하였다. 실험결과 역시 오차는 1%(혹은 1A)내에 들어가는 것을 확인할 수 있었다.

##### 2.2 배전계통 고장모의 시험

본 논문에서 배전계통 고장모의를 위하여 이용한 계통 시뮬레이션 프로그램은 Matlab/Simulink의 SimPowerSystem Blockset을 이용하였다. <그림1>은 고장모의를 위하여 사용한 모의계통 구성 그림이다.



<그림 1> 모의 계통 구성

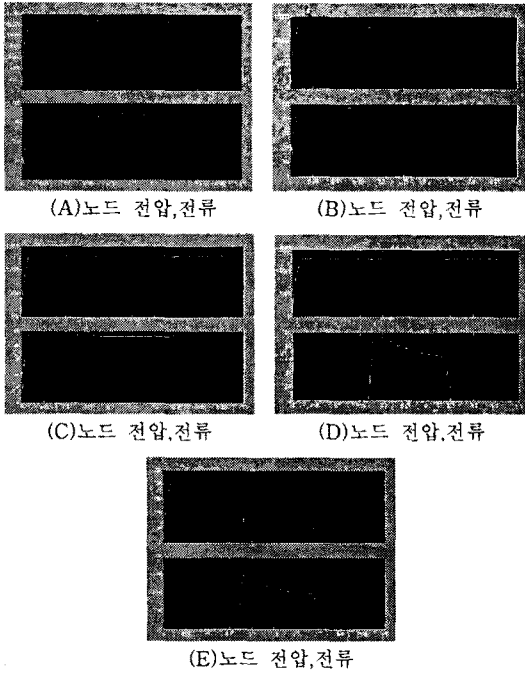
##### 2.2.1 지상변압기 2차측 지락고장 모의

<그림 2>은 지상변압기 2차측 지락고장 발생시 배전계통 모의시험 결과이다. <그림 1>에서 표기한 A-E까지의 각 노드에서의 전압, 전류 값을 표시한 것이다. (A) 노드는 변전소 CB측이고, (B)노드는 자동화 개폐기 A의 위치이고, (C)노드는 자동화 개폐기 B의 위치이다. (D) 노드는 고장발생한 지상변압기 1차측 이고, (E)노드는 2차측의 위치이다.

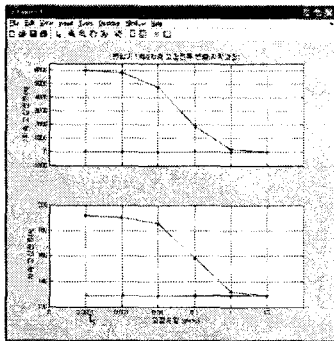
<그림 2>을 살펴보면 지상변압기 2차측 지락고장이 발생하였을 경우 전압변동은 미미하고, CB측 고장전류가 고장전 평균 약 128A에서 고장발생한 후에는 190A까지 상승함을 알 수 있다. 지상변압기 2차측 고장전류는 약 5800A까지 증가한다.

<그림 3>은 A상 지락고장일때 고장저항을 0.0001~100

까지 변화시켜가면서 CB측과 지상변압기 2차측 고장전류를 시험하였다. 그리고 AB상 지락고장 및 ABC상 지락고장 시에도 CB측과 지상변압기 2차측 고장전류를 시험하였다.



<그림2> 지상변압기 2차측 지락고장시의 전압/전류변동

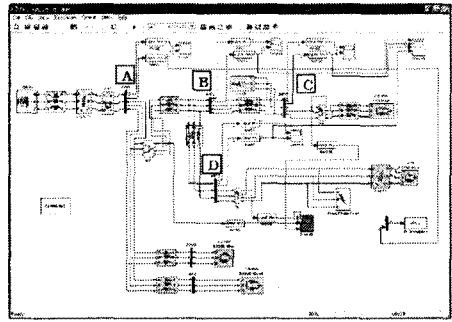


<그림3> 고장유형 및 고장저항 별 고장전류 변화

지상변압기 2차측 단락고장시의 고장전류 최대값은 C B측 약 192A과 2차측 약 6000A정도이다. 따라서 CB측 상에 흐르는 고장전류는 Relay를 동작시킬 정도로 크지 않다. 그러나, CB측에 흐르는 중성선 전류는 약 90A정도로 OCGR을 동작시킬 수 있다. 그러나, 변전소 CB의 동작시간은 7.093초(고장전류가 123A)로 계산된다. 변압기 1차측에 설치된 Bay-O-net 퓨즈가 약 0.13초내에 먼저 중단된다. 따라서 2차측에 단락고장이 발생하였을 경우 CB측 Relay는 동작될 수 없다.

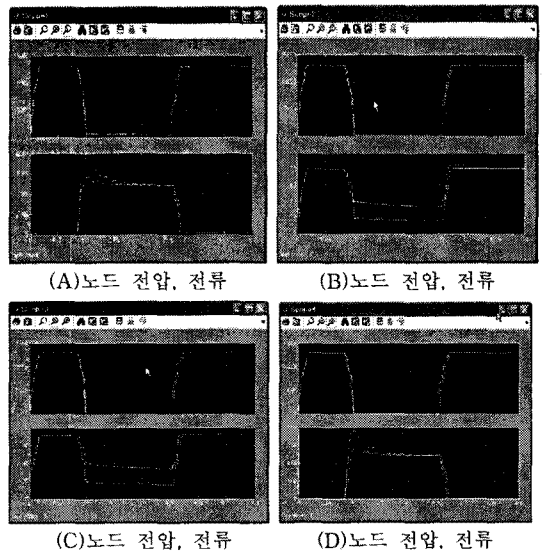
### 2.2.2 지상변압기 1차측 단락고장 모의

<그림4>은 지상변압기 1차측 단락고장 모의를 위하여 사용한 모의계통 구성 그림이다. 고장발생은 D노드 부하측에서 발생시켰다.

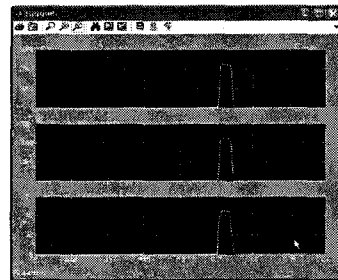


<그림 4> 변압기 1차측 고장 모의계통

<그림 5>는 지상변압기 1차측 3상지락고장 발생시 배전계통 모의시험 결과이다. <그림3>에서 표기한 A-E까지의 각 노드에서의 전압, 전류 값을 표시한 것이다. (A)노드는 변전소 CB측이고, (B)노드는 자동화 개폐기 S161의 위치이고, (C)노드는 자동화 개폐기 S144의 위치이다. (D)노드는 고장발생한 지상변압기 1차측이다. 그래프를 살펴보면 CB측인 (A)노드와 고장발생위치인 (D)노드에서 약 7,548A의 고장전류가 흐르고, (B), (C)노드에서는 전류가 줄어들어 약 40A의 전류가 흘렀다. 따라서, C상에 고장전류가 발생하지 않는다. <그림 5>은 (A), (D), (C) 노드에서의 중성선 전류를 표현한 것이다. (C) 노드에서는 전류의 불평형에 의한 전류 약 42A가 흐른다.



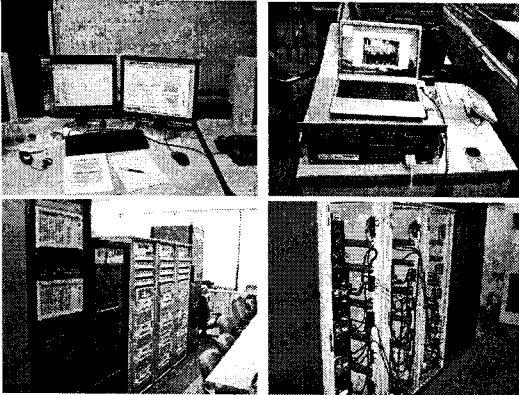
<그림5> D노드 부하측 고장시의 전압,전류 변화



<그림 6> 3상단락고장시의 A,D,C에서의 중성선 전류

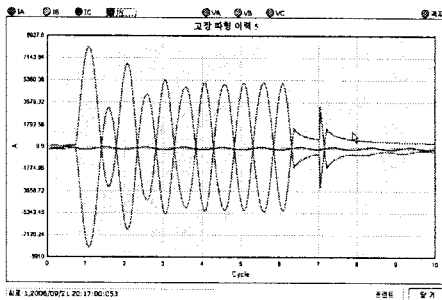
2.3 실시간 시뮬레이터를 이용한 FRTU 고장모의시험  
 기존의 FRTU의 동작시험은 한진KDN에서 제작한 시험기를 이용하였다. 그러나, 이는 다양한 고장전류의 모의가 불가능하고, 계통의 변동에 따른 즉각적인 시험이 힘들다. 따라서 본 절에서는 실시간으로 계통을 모의시험하고, 계통의 전압, 전류값을 증폭기를 이용하여 외부기에 입력할 수 있는 실시간 계통모의 시험장치를 이용하였다.

고장 발생시 부하측에 설치되어 있던 다회로 개폐기의 동작시험을 수행하였다. 수행방법은 계통을 모의할 수 있는 실시간 계통모의시험장치 (Real-time Digital Simulator; RTDS)를 이용하였다. 이 RTDS를 이용하여 모의한 계통의 전압, 전류를 출력하여 현장에 설치된 다회로개폐기 FRTU에 전압, 전류 입력으로 주어 FRTU가 정상적으로 동작하는 지를 시험하였다. 아래의 그림은 RTDS를 이용하여 FRTU를 시험한 사진이다.



<그림 7> RTDS를 이용한 FRTU 시험

RTDS를 이용한 FRTU 동작시험은 RTDS를 이용하여 모의 계통을 구성하고 이를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션시의 계통의 전압, 전류를 전압, 전류 증폭기를 이용하여 FRTU의 입력 전압/전류 수준으로 맞추어 FRTU로 전압, 전류로 입력하고, 이 계통의 전압, 전류에 따른 FRTU의 정상동작 여부를 시험하게 되는 것이다. RTDS에서 모의 계통을 구성하고, 고장을 발생시켜 고장전압, 전류에 대한 FRTU의 동작을 살펴보았다. 모의 계통은 FRTU의 정상동작 여부를 확인하기 위한 것으로 간단한 계통을 사용하였다. FRTU의 정상동작 여부는 고장발생시의 FRTU에 저장된 전압, 전류 측정 파형을 읽어서 입력 전압, 전류 파형과 비교하였다.



<그림 8> FRTU에 저장된 고장파형

<그림7> 다회로 개폐기의 각 회로에서의 AG Fault시의 고장전류, 전압 입력에 대한 FRTU의 측정값에 대한

그림이다. 시험시 고장발생 상에 대하여 FRTU는 각 상에 대한 FI를 잘 인지하였다. 다만 전압, 전류측 측정 파형에서는 입력 파형과 조금 다르게 측정되는 것을 관찰할 수 있다. 고장시 상전류와 N상전류가 위상이 다르게 측정되는 것을 볼 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문은 전력계통 모의시험프로그램을 이용하여 배전선로에서 발생하는 고장에 대한 모의를 하고, 이러한 고장이 발생하였을 경우 각 배전선로에서의 전압, 전류의 변동을 살펴보았다. 그리고, FI 오동작을 발생시킨 FRTU에 대하여 실시간 계통시뮬레이터를 이용하여 실제 전압, 전류에 대한 FRTU의 감지능력을 시험하였다. 실시간 계통시뮬레이터를 이용하면 FRTU 뿐만 아니라 다양한 배전기기의 동작시험에 적용되어 다양한 계통상황에 맞추어 FRTU 및 배전기기에 대한 시험을 수행하고, 배전기기의 성능향상에 도움이 될 것으로 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] RTDS Tutorial RTDS Technologies Inc. 2006
- [2] SimPowerSys Blockset Manual Mathworks 2006.