

디지털 측정 및 분석장치의 적용에 관한 연구

김명현, 서운택, 김대원, 강영식, 고희석  
 한국전기연구원 산업협력부, \* : 경남대학교 전기전자공학부

Consideration on data acquisition and analysis system for using short-circuit tests

M.H. Kim, Y.T. Suh, D.W. Kim, Y.S. Kang, H.S. Koh

Testing & Industrial Services Division of KERI, \* : Electrical Engineering Department of Kyungnam

**Abstract** - Measuring technology based on the computer and software is used worldwide by the aids of remarkably improved digital technology and measuring devices, and the electro-magnetic interference due to high currents and high voltages is being solved by the helps of applied optic instrumentation technology. The automatic acquisition, analysis and storage system of test data is available for utilizing the numerical computation technology. The measuring accuracy and testing efficiency are thus much higher because of the developed technologies.

In this paper, the construction of data acquisition system in KERI including measuring devices and its application to the short circuit test are described, and additionally the algorithm of the analyzing program for the automatic process of test data and the results of analyses are described.

1. 서 론

단락시험에서 사용되는 측정기 및 시험데이터의 처리에 관한 규격이 얼마 전까지만 하여도 완전하게 확립되어 있지 않았다. 그러나 IEC60060-1.2(1)(2)가 1994에 개정되면서 고전압분야에 대한 측정기의 국가측정표준의 소급성 확립과 측정시스템의 불확도 및 유지방안 등에 관한 국제표준이 확립되어 사용되고 있으며 전류에 대해서도 이러한 일련의 작업들이 활발하게 추진되고 있어 가까운 장래에는 고전압과 동일한 체계의 국제표준을 완비할 것으로 예측되고 있다. 단락시험에서는 전력계통에서 고장이 발생할 경우 나타나는 대전류와 고전압뿐만 아니라 직류에서부터 수백 kHz의 고주파 과도성분까지의 전류 및 전압이 발생하게되고 접지전위의 상승과 과도한 고장전류에 의한 외부의 전자잡음간섭과 같은 현상이 나타나게된다. 그러므로 단락시험에서 사용되는 측정장치는 이러한 약 조건하에서도 국제표준인 IEC60056(3)에서 규정한 측정의 정확도와 측정장치의 안정성이 요구되고 있다.

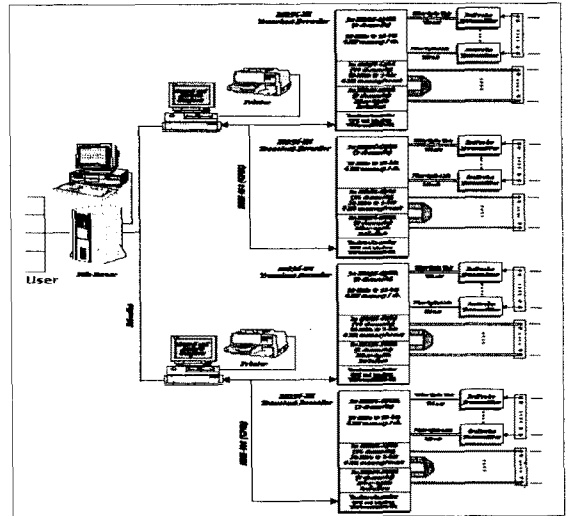
그러나 수년 전까지만 하여도 측정장치와 기술의 부족으로 대부분 고전압적인 Gaivanometer를 이용하는 Oscillograph 나 아날로그형의 Oscilloscope로 시험데이터를 수집하고 시험데이터는 사람에 의해 분석되었다. 이로 인해 사람에 의한 개인오차 발생의 개연성이 높았고, 대량의 데이터를 처리하고 분석하는데 많은 시간과 노력이 필요하였지만 현재에는 컴퓨터를 기반으로 하는 측정 기술(5)이 보편화되었고, 측정장치와 디지털기술(4)의 눈부신 발전과 광응용 계측기술(5)의 발달로 고전압 대전류의 전자잡음 간섭문제도 완전하게 해결을 보았으며, 시험데이터의 분석도 수치연산을 이용하여 자동으로 처리, 분석 및 저장이 가능해짐으로 측정의 정확성과 시험의 효율을 한층 더 높게 되었다. 따라서 본 논문에서는 이러한 디지털과 광응용 계측기술을 사용하는 완전한 한국전기연구원 측정장치의 구성과 단락시험에서의 적용에 관해 기술하였고, 부가하여 시험데이터를 자동으로 분석(6)

하는 분석프로그램의 알고리즘과 분석결과 등에 대해 기술하였다.

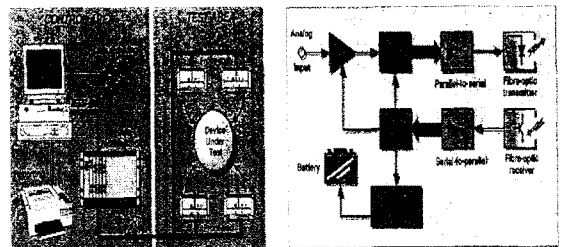
2. 측정시스템의 개요

2.1 측정 시스템의 구성

KERI 측정시스템의 구성은 그림1(a)에서 나타난 것처럼 고전압 및 대전류를 검출하는 Voltage divider나 current shunt로 이루어진 검출부, 검출된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한 후 외부에서 침입하는 전자잡음과 접지전위의 상승 등으로부터 측정신호를 분리할 수 있는 광신호로 변환하는 송신부, 현장에서 측정제어실까지 데이터를 전송하는 광케이블 및 connector로 구성된 수송부, 그림 1(b)에서 나타난 것처럼 수송된 신호를 수신한 후 이를 다시 전기신호로 환원하고 시험데이터를 수집, 저장, 분석하는 제어장치와 이들을 제어하고 분석하기 위한 프로그램으로 구성되어있으며, 전체시스템의 구성도는 그림1(a)와 (b)에 각각 나타내었다.



(a) KERI DAS시스템의 구성도



(b) DAS시스템의 configuration (c) 시험데이터의 processing  
 그림 1 측정시스템의 구성장치와 출력

## 2.2 DAS 장치의 기본사양

단락시험에 필요한 DAS는 1) 시험데이터의 측정정도를 유지하기 위해서는 10bit이상의 수직분해능을 가져야 하고, 2) 고주파성분의 시험데이터를 오차 없이 재생하기 위해서는 10Ms/s의 수평분해능을 가져야하며, 3) 시험의 항목과 동작책무에 따라 수백 ms에서 수십 초 동안의 시험데이터를 원활하게 저장하기 위해서는 1Mb이상의 Memory를 가져야하고, 4) 수직분해능의 정도를 유지하기 위해 입력데이터의 크기에 맞게 입력범위의 조정이 가능한 장치라야 한다.

## 2.3 KERI 측정장치의 사양

- (1) Input
  - Range(Full scale) :  $\pm 100\text{mV} \sim \pm 100\text{V}(1,2,5 \text{ step})$
  - Impedance :  $1\text{M}\Omega, 80\text{pF}@Full \text{ scale} \leq \pm 5\text{V}$   
 $1\text{M}\Omega, 60\text{pF}@Full \text{ scale} \geq \pm 10\text{V}$
  - Bandwidth :  $\geq 5\text{MHz}@-3\text{dB}$
  - Noise(RMS) :  $< 1 \text{ LSB}$
- (2) 연산장치
  - Vertical Resolution : 14 bits(0.012%)
  - Digitizing rate : Maximum ..... 10Ms/s
- (3) Memory : 4MB/Channel
- (4) Trigger
  - Pretrigger, Multibus trigger, Basic, sequential, window, alarm, off, Contact trigger

## 3. 분석프로그램의 알고리즘

분석 프로그램은 DAS 장치의 운용프로그램인 TEAMPRO상에서 DAS에 수집된 시험데이터를 각 시험항목별 측정 Parameter값들을 자동으로 분석되도록 알고리즘을 구성하는 것을 원칙으로 하고 다만 측정데이터에 포함되어있는 불규칙한 노이즈나 아크전압 등으로 인해 왜형이 발생한 데이터를 정확하게 분석하기 위해 일부는 내장된 계산 Function을 이용하거나, Cursor를 사용하여도 측정이 가능하도록 프로그램의 알고리즘을 구성하였다. 그리고 본 분석프로그램은 STL Technical Report (Harmonisation of data processing methods for evaluating test quantities between test laboratories-2000)(3)을 기준으로 하여 작성되었다.

### 3.1 분석프로그램

분석프로그램은 단락시험에서 대표적인 시험항목을 중심으로 8가지의 프로그램 Package를 단위별로 제작하여 시험항목에 따라 선택하여 사용할 수 있도록 제작하였으며 모든 시험항목에서 공통적으로 사용되는 계산항목은 Function Group에 추가하여 Pull down menu로 나타내고 계산한 결과 값은 그림 8에 나타난 것처럼 각 시험항목의 성적서에 첨부되어 저장된다.

- (1) Short-Time Current Test (single, 3 phase)
- (2) Short-Circuit(direct method) Test (single, 3 phase)
- (3) Short Circuit(synthetic method) Test (single, 3 phase)
- (4) Capacitive Current Test (single, 3 phase)
- (5) Small Inductive Current Test (single, 3 phase)
- (6) Power transformer test(single, 3 phase)
- (7) Fuse test(Interrupting Test)
- (8) Load breaker switch test(single, 3 phase)

#### 3.1.1 회로 역률(PF)

(1) 직류성분의 감소비율을 이용한 계산  
비대칭 전류일 경우는 그림 2에서 나타난 것처럼 전류 포락선을 그어 두 지점의 dc분의 감소 비율을 이용하여 식(1)와 같이 역률을 구한다.

$$PF_{dc} = \cos \left[ \tan^{-1} \left( \frac{X}{R} \right) \right] \quad (1)$$

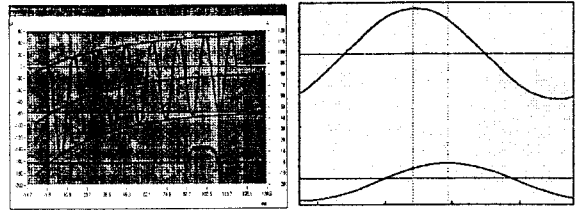


그림2 DC분에 의한 PF결정

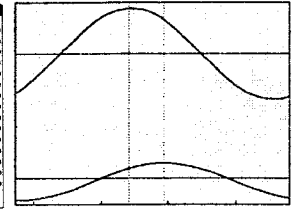


그림3 위상차에 의한 PF결정

(2) 위상차를 이용한 계산

부하개폐기와 같이 시험전류와 전압이 동시에 측정되는 시험인 경우에는 그림 3에서 나타난 것처럼 시험전압과 전류의 위상차( $\theta$ )를 식(2)과 같이 계산하여 역률을 구한다

$$PF_{\text{avg}} = \tan^{-1}(\theta) \quad (2)$$

#### 3.1.2 과도회복전압(TRV)

(1) 2-Parameter TRV

그림 4에서 나타난 것처럼 2-Parameter TRV에서 Parameter의 결정방법은 다음과 같다.

Step 1 : TRV의 시작점( $U_0, t_0$ )는 Cursor로 지정하고 이 점을 기준으로 접선( $U_a, t_a$ )를 그린다.

Step 2 : 접선( $U_a, t_a$ )을 수평 이동하여 최소기울기점과 만나는 접선을 그리면 접선( $U_b, t_b$ )가 된다. 이때 ( $U_a, t_a$ )과의 간격이 시간지연  $t_d$ 가 된다.

Step 3 : TRV의 최대값인  $U_c$ 점을 기준으로 x축과 평행접선을 그리고 접선( $U_a, t_a$ )과 만나는 점을 시간축에서 계산하면  $t_3$ 가 된다. 그리고 접선( $U_a, t_a$ )을 평행 이동하여 최소기울기점과 만나는 접선( $U_b, t_b$ )와의 간격이 시간지연  $t_d$ 가 된다.

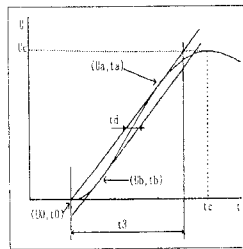


그림4 2-Parameter TRV

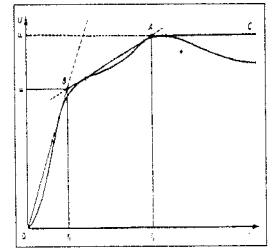


그림5 4-Parameter TRV

(2) 4-Parameter TRV

그림 5에서 나타난 것처럼 4-Parameter TRV에서 Parameter의 결정방법은 다음과 같다.

Step 1 : TRV의 시작점( $U_0, t_0$ )는 Cursor로 지정하고 이점을 기준으로 첫 번째 접선 B를 그린다.

Step 2 : IEC60056에서 규정한 것처럼 두 번째 접선 A를 그리고 접선 B와 만나는 점의 Y축 좌표는  $U_1$ 이고, X축 좌표는  $t_1$ 이 된다.

Step 3 : TRV의 파고치를 X축과 평행한 접선 C를 그리고 접선A와 만나는 점의 Y축 좌표는  $U_c$ 이고, X축 좌표는  $t_2$ 이 된다.

Step 4 : 접선 B를 수평 이동하여 최소기울기점과 만나는 접선을 그리면 접선 B와의 간격이 시간지연  $t_d$ 가 된다.

#### 3.1.3 직류분의 계산

단락시험에서 직류분은 차단기의 단락시험에서 사용되는 Parameter로서 차단기 점점이 분리되는 순간의 교류성분에 대한 직류분의 비율을 백분율로 나타낸 값으로 식(3) 및 그림 6에 따라 직류분을 계산하였다.

$$\%dc = \left| \frac{Y_1 + Y_2}{Y_1 - Y_2} \right| \times 100 \quad (3)$$

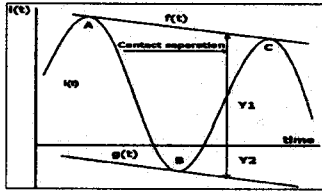


그림6 직류분의 결정방법

### 3.1.4 초기조건의 입력

측정된 데이터를 자동으로 연산하기 위해 다음과 같은 초기조건들을 입력한다.

- (1) 시험항목에 따른 사용 Channel을 지정 한다.
- (2) 동작 책무(O, CO, O-CO, CO-CO)에 따른 개극시간을 각각 입력한다.
- (3) 동작 책무(CO, O-CO, CO-CO)에 따라 폐로시간을 각각 입력한다.

### 3.1.5 시험Parameter의 계산

입력된 초기조건을 사용하여 측정된 데이터를 아래와 같이 계산하여 구한 값을 성적서에 기록 저장하고 계산방법은 표 1에서 나타낸 방법과 STL Technical Report (Harmonisation of data processing methods for evaluating test quantities between test laboratories-2000)을 사용하였다.

- (1) 파고전류 : 각상의 초기파고전류를 STL Guide방법을 사용하여 구한다.
- (2) 차단전류 : 차단기의 개극순서의 각상의 시험전류, 3상의 경우 3상의 평균값
- (3) 시험전압 : 투입시험 직전 각상 전압의 실효치, 3상인 경우 실효치의 평균값
- (4) 회복전압 : 전류차단 후 1/2~1 Cycle사이의 각상 전압의 실효치, 3상인 경우 평균값
- (5) 아크시간 : 차단기의 개극 시점에서 시험전류가 완전하게 차단되는 시점까지의 시간
- (6) 차단시간 : 개극시간과 아크시간의 합
- (7) 전류영점에서의 전류의 기울기 : 전류차단직전의 전류원 및 주입전류의 기울기
- (8) Injection current peak : 주입전류의 파고치
- (9) Duration of injection current : 전류원전류가 차단되고 주입전류만의 통전시간
- (10) 전원측전압 : 전류차단 직전에 차단기에 인가되는 전압의 실효치, 3상인 경우 평균값.
- (11) 부하측전압 : 전류차단 후 차단기의 부하측에 인가되는 전압의 실효치, 3상인 경우 평균값
- (12) 극간전압 : 차단기의 극간에 인가되는 전압, 전원측 전압과 부하측전압의 차

표 1 시험에 따른 실효치 계산의 적용 방법

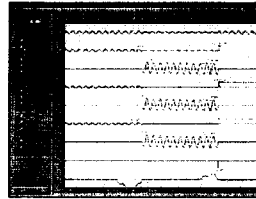
Test duty(IEC60056)	전류		전압	
	3-Crest	실효치	3-Crest	실효치
6.5 Short-time current tests	○			
6.106 Basic short-circuit tests	○		○	
6.109 Short-line fault tests	○		○	
6.110 Out-of-phase test	○	○	○	○
6.111 capacitive current s/wing tests		○		
6.112 inductive current s/wing tests		○		
• Magnetizing currents(6.112.1,2)	○	○	○	
• Other sub-clauses (6.112.3,4,5)	○	○	○	

## 4. 측정된 데이터의 분석결과 검토

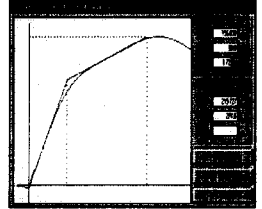
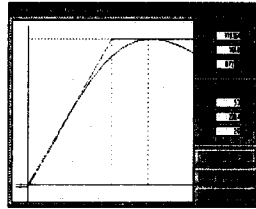
분석프로그램은 3장에서 언급한 것처럼 STL Guide에서 규정한 계산알고리즘에 따라 제작한 것으로 분석결과는 그림 7(a)에서 (d)에 각각 나타내었다. 그림 7(a)에서 알 수 있는 것처럼 자동재폐로 동작책무의 분석은 차단과 투입을 분리해서 분석을 수행하게 프로그램 하였

으며, 분석결과는 그림 7(b)와 같다.

그리고 TRV의 분석은 ITRV, 2-Parameter 및 4-Parameter를 각각의 Unit로 제작하여 필요한 시점에서 사용이 가능하게 하였으며, 분석결과는 그림 7(c)와 (d)에 각각 나타내었다.



(a) CO-동작책무의 Oscillogram (b) 분석된 결과



(c) 2-Parameter 분석파형 (d) 4-Parameter 분석  
그림 7 분석프로그램의 출력파형과 계산 데이터

## 5. 결론

단락시험에서 디지털 및 광용용 계측기술을 이용하여 고전압 및 대전류를 측정하기 위한 연구는 오래 전부터 꾸준히 진행되어 왔지만 주변기술의 부족으로 얼마 전까지만 하여도 별 진전을 보지 못했다. 그러나 현재에는 반도체 및 광용용 기술의 비약적인 발전으로 단락시험에서 발생되던 전자잡음이나 접지전위의 상승으로 인한 많은 문제점을 완전하게 해결한 측정장치가 개발되어 사용되고 있다.

현재 KERI는 단락시험설비의 시험용량과 품질을 향상시키기 위한 사업이 진행중에 있으며 본 사업의 일환으로 디지털 및 광용용 계측기술을 복합적으로 사용한 장치를 새로이 도입하였고, 시험결과와 분석에 따른 개인오차 발생의 개연성을 줄이기 위해 수치연산을 사용한 자동분석 프로그램도 함께 개발하였다.

이러한 일련의 작업으로 KERI는 분석기술과 정밀도가 높은 측정장치를 동시에 완벽함으로써 측정의 정확도 및 시험결과에 대한 신뢰성을 한층 더 향상시켜 국가공인시험기관으로서의 국제적 신뢰성을 확보하게 될 것으로 전망된다.

### [참고문헌]

- [1] "High-voltage test techniques Part 1: General definitions and test requirements", IEC60060-1, 1999
- [2] "High-voltage test techniques Part 2: Measuring System", IEC60060-2, 1994
- [3] "High-voltage alternating current circuit breaker", IEC60056, TC/SC 17A/FDIS, 2001
- [4] J.M.Legros "Digital acquisition and numerical processing of measuring signals, in a high voltage circuit breaker testing laboratory" 1996
- [5] A.lathouwers, S.Roeloffzen and A. Janssen "Quality in high power measurements: Development of a new digital generation of measurement information and data acquisition system"
- [6] R. Malewski "Measuring and data processing system for high power laboratory" 1991