

단락전류 분석프로그램의 성능 평가

이 동준\*, 노 창일\*, 정 흥수\*, 김 선구\*, 김 원만\*, 나 대열\*, 김 철환\*\*  
 \* 한국전기연구원, \*\* 성균관대학교

The evaluation of the analysis software for short-circuit current

Lee Dong-Jun, Roh Chang-IL, Jung Heung-Soo, Kim Sun-Koo, Kim Won-Man, La Dae-Ryeol, Kim Chul-Hwan  
 \* Korea Electrotechnology Research Institute, \*\* SungKyunKwan University

**Abstract** - 단락시험시 시험회로의 주요 파라미터들은 시험전압과 시험전류를 이용하여 결정된다. 특히, 단락전류의 경우 전류파형의 피크치, RMS, 시간, DC-성분, 역률 등을 분석프로그램을 이용하여 분석하게 된다. 그러나 이러한 분석프로그램은 각 시험기관마다 다르고, 현재까지 분석프로그램을 검증할 국제적인 기준이 존재하지 않았다. 그러나 최근 들어 STL(Short-circuit Testing Liason)에서는 각 시험기관마다 상이한 분석프로그램을 검증할 절차에 대한 연구를 수행하여 왔으며 그 첫 번째로 단락전류 분석프로그램에 대한 성능 평가 절차가 어느 정도 완성되었다. 이에 본 논문에서는 STL에서 배포한 TDG(Test Data Generator)를 이용해 reference curve를 생성하고, 전기연구원의 전류분석프로그램을 사용하여 분석프로그램의 신뢰성을 평가하여 보았다.

1. 서 론

대전력시험시 국제규격에서 요구하는 시험회로의 주요 파라미터들은 회로정수를 이용하거나, 전압 또는 전류를 이용하여 결정된다. 그러나 시험회로 정수는 여러 환경 요인에 의해 변화율이 크기 때문에 실제로는 시험전압 또는 시험전류를 이용하여 시험회로가 규격에 적합한지의 여부를 결정한다. 그중 분석프로그램을 이용하여 시험전류를 분석하면 시험전류의 피크치, RMS, 시간, DC-성분, 시험회로의 역률 등을 결정할 수 있으며, 이 경우 검증된 분석프로그램이 사용되어야 한다. 과거에는 이러한 분석프로그램에 대한 검증방법이 국제적으로 확립되지 않았다. 그러나 최근 들어 STL에서 시험전류 분석프로그램의 성능평가에 대한 절차가 개발되고, 이와 함께 TDG가 개발완료 및 배포되었기 때문에 각 시험기관마다 자체 분석프로그램의 성능평가가 가능하게 되었다. 본 논문에서는 최근 STL에서 개발한 TDG를 이용하여 8개의 reference curve를 생성하고, 생성된 reference curve를 새로 개발중인 전기연구원의 단락전류 분석프로그램을 사용하여 분석해 보았다. 분석된 값들은 불확도를 사용하여 STL에서 제시하는 기준값과 비교하여 보았다.

2. 본 론

2.1 분석프로그램

현재 개발중인 단락전류 분석프로그램은 신호의 분석 전에 STL Guide에서 제시하는 DTM(double threshold method)에 따라 offset과 0점이전의 noise를 제거한다. DTM이란 신호의 x축과 y축에 대해 일정 level을 정한 후 입력신호가 이 level을 동시에 만족하지 못할 경우에는 noise로 간주해 입력 샘플을 0으로 처리하는 기법을 말한다. STL에서 제시하는 x축, y축 level은 다음과 같다.

3%

x축 : 입력신호 주기의 0.5%

현재 개발중인 프로그램의 알고리즘은 사용되는 DAS(Data Aquisition System)가 12 bit A/D converter를 사용하기 때문에 12bit 기준으로 입력신호에 따라 자동으로 full scale을 판별하도록 개발되었다.

그림 1은 분석프로그램이 신호를 분석하기 전에 DTM을 이용해서 원신호에서 offset과 0점이전의 noise를 제거한 모습을 보여주고 있다.

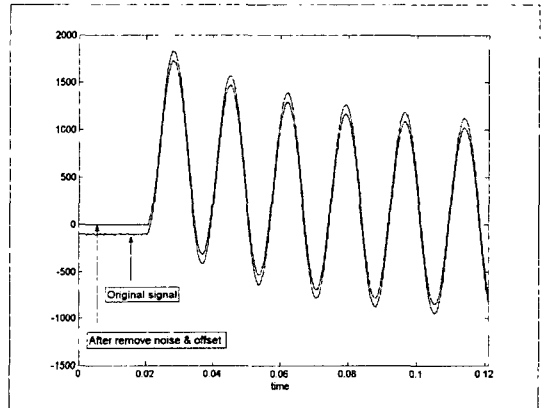


그림 1. DTM을 이용하여 offset과 noise를 제거

특정 loop의 피크치를 계산하기 위해서 본 논문에서 소개한 프로그램의 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 이 구간내에서 sample들을 최소자승법에 기초하여 2차함수 곡선을 찾는다. 그 후 구간내에 2차함수의 최대, 또는 최소 값을 찾고 이때의 시간을 계산한다.

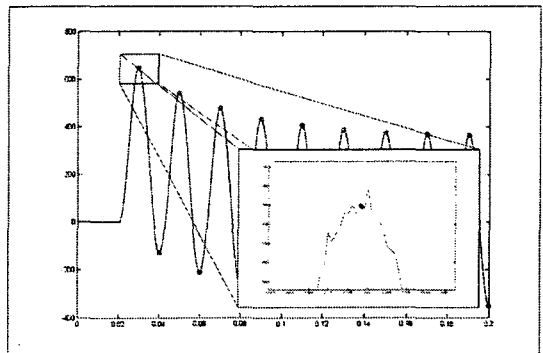


그림 2. 노이즈가 포함된 loop에서의 피크치 계산

y축 : A/D converter의 full scale level에 대하여

전류의 특정 loop에서 RMS와 DC 성분을 계산하기

위해서 본 논문에서는 전류의 envelope을 이용하였다. RMS는 그 정의 자체가 특정지점의 정보만으로는 계산이 불가능하다. 따라서 전류가 포화되지 않았다는 가정 하에 envelope을 이용하거나 간단히 peak들을 이용한 3-crest method법으로 RMS를 계산할 수 있다. 본 논문에서 소개한 프로그램은 최소자승법에 기초한 exponential curve fitting 알고리즘을 이용하여 전류의 envelope를 계산하여 특정지점에서의 RMS와 DC 성분을 계산한다. 다음 수식은 exponential curve fitting에 사용된 수식을 나타내고 있다.

$$i_d = I_{d0} \varepsilon^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

그림 3과 4는 개발중인 단락전류 분석프로그램을 보여주고 있다.

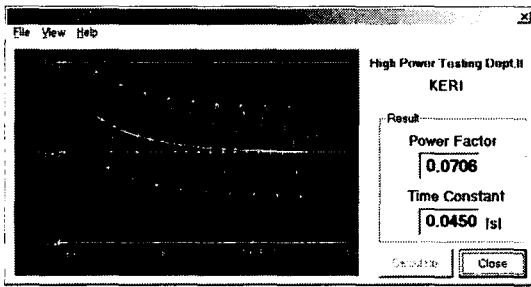


그림 3. 단락전류 분석프로그램

그림 3은 분석프로그램이 분석을 마친 후의 모습을 나타내며 사용자는 view메뉴를 이용하여 그림 4와 같은 자세한 해석 결과를 얻을 수 있다.

Results					
No	Peak	Time	RMS	DC	
1	1.80E+03	2.98E-02	7.04E+02	8.10E+01	
2	-3.60E+02	4.01E-02	7.06E+02	6.40E+01	
3	1.51E+03	4.99E-02	7.08E+02	5.13E+01	
4	-5.89E+02	6.01E-02	7.06E+02	4.10E+01	
5	1.33E+03	6.99E-02	7.07E+02	3.30E+01	
6	-7.36E+02	8.01E-02	7.07E+02	2.63E+01	
7	1.21E+03	9.00E-02	7.07E+02	2.11E+01	
8	-8.31E+02	1.00E-01	7.07E+02	1.69E+01	
9	1.13E+03	1.10E-01	7.07E+02	1.35E+01	
10	-8.91E+02	1.20E-01	7.07E+02	1.08E+01	
11	1.09E+03	1.30E-01	7.07E+02	8.68E+00	
12	-9.30E+02	1.40E-01	7.07E+02	6.94E+00	
13	1.06E+03	1.50E-01	7.05E+02	5.57E+00	

그림 4. 분석프로그램의 해석 결과

그림 4에서 첫 번째 행은 단락전류의 loop순서를 의미하고 나머지의 값들은 해당 loop의 peak에서의 데이터를 나타낸다. 분석프로그램은 DAS와 연계되어 동작되며, 사용자의 편의를 위해 TDG에서 생성한 reference curve file을 직접 읽어 분석도 가능하도록 개발되었다.

## 2.2 불확도평가

최근 들어 많은 계측영역에서 계측의 신뢰성을 평가하는 데 있어 불확도를 사용하고 있다. 이에 따라 국제규격에서도 시험시 사용되는 계측장비들의 불확도를 요구하기 시작했다.

소프트웨어의 평가는 일반적으로 계통효과에 의한 불

확도(B-type)으로 분류되며 표준불확도 계산시 직사각형분포로 가정하여 평가한다.

$$u_{sw} = \frac{\max(a)}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

수식 (2)에서 max(a)는 각 curve에서 가장 error가 큰 값을 나타낸다. TDG의 불확도를 고려한 분석소프트웨어 전체의 확장불확도는 약 95%의 신뢰도에서 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$U = 2 \times \sqrt{u_{TDG}^{2+} u_{sw}^2} \quad (3)$$

식 (3)에서 TDG에 의한 불확도는 그 값이 너무나도 작기 때문에 무시가능하며 이 경우 불확도는 최종적으로 다음과 같이 계산된다.

$$U = 2 \times \sqrt{\frac{\max(a)^2}{3}} \quad (4)$$

본 논문에서는 TDG로 생성한 8개의 reference curve를 분석프로그램으로 모든 peak 지점에서 peak, time, RMS, DC 성분을 분석한 후 reference table의 값과 비교하였다.

다음 표 1은 8개 reference curve들의 특징을 보여주고 있다.

표 1. reference curve들의 특징

#1	dc-time constant 45[ms]
#2	dc-time constant 120[ms], RMS 증가, 주파수 감소
#3	dc-time constant 45[ms], RMS 감소, 주파수 감소
#4	dc-time constant 45[ms], offset 존재
#5	dc-time constant 45[ms], dynamic range 30[%]
#6	dc-time constant 45[ms], noise 존재
#7	dc-time constant 80[ms], sub-transient ac-decrement 400[ms], offset 존재, noise 존재, angle 45°
#8	dc-time constant 80[ms], sub-transient ac-decrement 400[ms], transient ac-decrement 16[ms], 주파수 감소

Curve #2와 #3은 발전기의 특성상 단락시험시 주파수의 감소와 여자시스템의 과여자나 발전기의 용량부족에 따른 전류의 감소를 모의하기 위한 전류파형이다. curve #4, #5, #6은 단락시험에 사용되는 측정 장치들의 특성과 관련된 전류파형으로서 각각 noise, DAS의 range, offset등에 분석프로그램의 알고리즘이 영향을 받는지를 평가하기 위한 전류파형이다. curve #7과 #8은 sub-transient와 transient의 조정 및 #7과 같은 경우 angle이 45°로서 minor loop로 시작되고 #8의 경우 duration이 1초인 복합적인 특성을 갖는 전류파형이다.

이러한 TDG로 생성한 전류를 이용한 알고리즘의 불확도 평가절차는 그림 5와 같다.

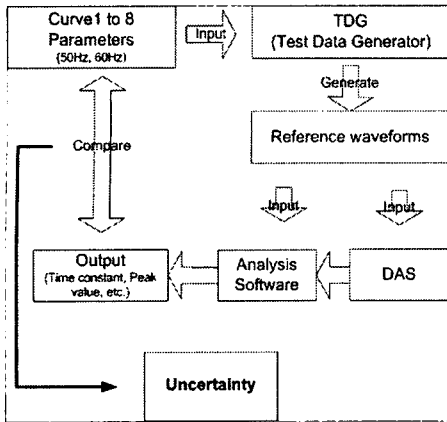


그림 5. TDG를 이용한 분석프로그램 평가 절차

### 2.3 평가결과

그림 6은 표1에서 나타낸 8개의 reference curve를 분석한 결과중 peak, RMS, 시간의 불확도를 보여주고 있다.

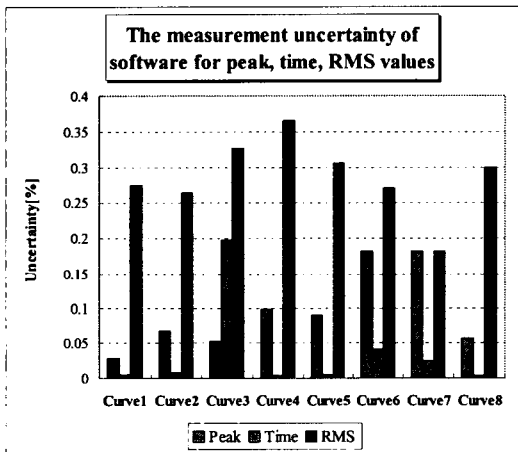


그림 6. peak, time, RMS의 최대 불확도

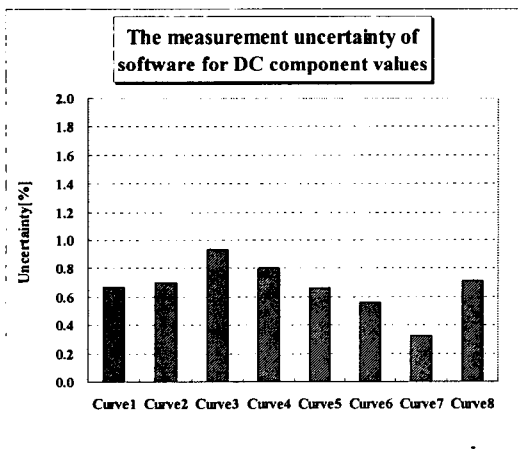


그림 7. DC 성분의 최대 불확도

그림 7은 분석프로그램의 DC 성분 계산 알고리즘의 불확도를 보여주고 있으며 reference curve #3에서 가장 큰 불확도를 나타내고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 현재 개발중인 단락전류 분석프로그램의 신뢰성을 평가해 보았다. 평가는 STL에서 배포한 TDG를 이용하여 8개의 reference curve를 생성한 후, 이를 분석프로그램으로 분석하여 그 결과 값을 비교하여 보았다.

결과 값의 불확도 평가를 통하여 STL에서 제시하는 불확도와 비교하였다. 다음 표 2는 그 결과를 보여주고 있다.

표 2. 분석프로그램의 불확도 평가 결과

	Peak[%]	Time[%]	RMS[%]	DC[%]
STL 기준	<0.2	<0.3	<0.4	<2.0
KERI	<0.18	<0.20	<0.36	<0.94

STL에서는 5개의 시험기관간의 비교평가를 이미 마쳤으며, 그 결과를 토대로 표 2와 같은 기준을 제시하였다. Peak는 최대 0.2[%], 시간은 최대 0.3[%], RMS는 최대 0.4[%], DC 성분은 2.0[%]이며, 본 논문에서 소개한 분석프로그램은 불확도 평가 결과 모든 부분에서 STL에서 제시한 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 표 2의 결과중에 DC 성분의 경우 국제규격에서 20[%]까지만 요구하기 때문에, 본 논문에서도 DC 성분이 20[%] 미만인 경우 불확도 평가에서 제외하였다.

본 논문에서 평가한 단락전류의 4가지 요소 이외에 현재 STL에서는 추가적인 요소에 대한 검토작업에 있다. 추가적인 요소에 대한 기준이 마련 되는대로 관련 소프트웨어의 알고리즘에 대한 신뢰성 평가와 관련된 연구가 앞으로 계속해서 요구된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] STL, "Harmonization of data processing methods for high power laboratories", October, 2003
- [2] IEC 61083-2, "Digital recorders for measurements in high voltage impulse tests- Part2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms", 1996
- [3] 이 동준, 노 창일, 정 홍수, 김 선구, 김 원만, 나 대열, 김 철환, "대전력시험을 위한 측정시스템의 평가", 대한전기학회 하계학술대회, 2002
- [4] 이 동준, 노 창일, 정 홍수, 김 선구, 김 원만, 나 대열, 김 철환, "전류를 이용한 단락시험회로의 역률 측정 알고리즘에 대한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, 2003
- [5] STL, ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration and testing laboratories, 2000
- [6] Duane Hanselman and Bruce Littlefield, Mastering MATLAB, Prentice-Hall International, Inc.
- [7] Mathworks, Curve Fitting Toolbox User's Guide.
- [8] ISO Guide, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement