

## 대전력시험 분석프로그램의 신뢰성 평가

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

\* 한국전기연구원, \*\* 성균관대학교

### The reliability evaluation of the analysis software for short-circuit test

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** - 디지털 컴퓨터와 측정시스템의 발달로 대전력시험 데이터들은 시험자에 의한 분석이 아닌, 분석프로그램을 이용한 자동 분석이 가능해졌다. 그러나 분석프로그램을 이용하여 시험데이터를 분석해야 할 경우, 분석프로그램의 객관적인 신뢰성이 먼저 확보되어야 한다. 최근 들어 이러한 문제점을 보완하기 위하여, STL(Short-circuit Testing Liason)에서는 분석프로그램의 신뢰성을 위해 TDG(Test Data Generator)를 개발하였다. 이를 이용하면 대전력시험기관에서 사용하는 분석프로그램간의 객관적인 비교 및 평가가 가능하다. 따라서 본 논문에서는 STL에서 배포한 TDG를 이용하여, Crest, RMS, %DC 분석프로그램 알고리즘의 신뢰성을 평가해 보았다. 또한, STL에서 제시한 reference curve는 50[Hz]를 기본주파수로 하고 있기 때문에, 평가의 신뢰성을 높이기 위해 본 논문에서는 우리나라의 설정에 맞는 60[Hz]의 reference curve도 추가로 고려하였다. 신뢰성 평가 결과 모든 reference curve에 대한 분석알고리즘의 측정불확도가 STL에서 제시하는 범위에 존재함을 확인하였다.

### 1. 서 론

STL의 TG-A(Task Group-A)에서는 대전력시험 데이터 분석프로그램의 알고리즘 및 평가방법에 대한 technical report를 발표하였다[1]. 이 report에 따르면 분석프로그램의 알고리즘은 TDG를 이용하여 생성된 8개의 reference curve를 이용하여 평가된다. 평가대상은 RMS, Crest, %DC, Time의 4가지 파라미터를 분석하는 알고리즘이며, 평가결과는 측정불확도로 나타내어진다. STL에서 제시한 8개의 reference curve들은 대전력시험 중에 측정될 수 있는 신호의 특성을 모두 포함하고 있다. 그러나 기본 주파수가 유럽 표준인 50[Hz]를 기본으로 하고 있고, 샘플링 주파수도 낮아, 국내의 경우 추가적인 reference curve들에 의한 평가가 더 필요하다. 본 논문에서는 STL에서 제시하는 8개의 reference curve들 외에, 60[Hz]를 기본으로 하고 샘플링 주파수도 더 큰 16개의 reference curve들을 추가로 생성하여 평가에 사용하였다. 또한, 평가결과를 측정불확도로 분석하여 STL에서 제시하는 기준과 비교해 보았다.

### 2. 본 론

#### 2.1 Reference curve

표 1은 STL에서 제시한 reference curve들의 특징을 나타내고 있다. 8가지의 curve들은 대전력시험시 나타날 수 있는 신호들의 특징을 모두 포함하고 있으며 기본주파수는 50[Hz]이다.

표 1. Reference curve들의 특징

No	특징
#1	dc-time constant 45[ms]
#2	dc-time constant 120[ms], RMS 감소, 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	't 400[ms], transient ac-decrement 16[ms], 주파수 감소

그러나 표 1에 제시된 신호는 모두 50[Hz]를 기본주파수로 하고 있기 때문에 다음과 같은 사항을 추가적으로 고려하여야 한다.

- 기본 주파수 60[Hz]
- 샘플링 주파수가 더 높은 경우

국내의 경우에는 상용주파수가 유럽과는 달리 60[Hz]를 사용하고 있으므로 이 부분에 대한 추가적인 알고리즘의 신뢰성 평가가 필요하다. 또한 신호의 crest를 분석하거나 RMS를 계산하는 분석알고리즘은 낮은 샘플링 주파수로 측정된 전류 신호이외에, 높은 샘플링 주파수로 측정되는 전압 신호 분석에 대해서도 적용되기 때문에 추가적인 reference curve가 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 기본주파수 60[Hz]와 샘플링주파수를 더 높인 reference curve를 추가적으로 평가에 사용하였다.

표 2. 평가에 사용된 reference curve들

	Group 1	Group 2	Group 3
기본 주파수	50[Hz]	60[Hz]	60[Hz]
샘플링 주파수	10[kHz]~ 20[kHz]	30[kHz]	50[kHz]
개수	8	8	8

표 2에서 Group 1은 STL에서 제시한 reference curve들이며 Group 2, 3은 TDG를 이용하여 추가적으로 생성한 reference curve들이다. Group 2, 3은 기본주파수와 sampling 주파수를 제외한 나머지 파라미터들은 Group

1과 같은 파라미터를 이용하여 생성하였다.

## 2.2. 측정불확도[2]

최근 들어 많은 계측영역에서 계측의 신뢰성을 평가하는데 있어 측정불확도를 사용하고 있다. 또한, 특정 국제 규격에서도 시험에 사용되는 계측장비들의 측정불확도를 요구하기 시작했다[3].

소프트웨어의 평가는 일반적으로 계통효과에 의한 불확도(B-type)로 분류되며, 표준불확도 계산 시에는 직사각형분포로 가정하여 평가한다.

본 논문에서 사용한 알고리즘의 측정불확도 평가방법은 다음과 같다. 먼저 TDG에서 생성된 reference curve의 포맷은 실제 시험에 사용되는 software의 데이터 포맷과 호환이 되지 않기 때문에, 실제 시험에 사용하는 software의 포맷에 맞도록 변환하고 데이터를 입력할 수 있는 software를 개발하여 reference curve를 실제 시험에 사용하는 software에서 분석하였다. 분석프로그램으로 reference curve들의 모든 crest, RMS, %DC 파라미터들을 분석한 후, TDG에서 생성된 reference table의 파라미터와 분석된 모든 파라미터들을 비교하였다. 비교 후 수식 (1)과 같이 직사각형 분포를 가정하여 표준불확도를 산출하였다.

$$u_{SW} = \frac{\max(a)}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

TDG의 표준측정불확도를 고려한 분석프로그램의 확장불확도는 약 95%의 신뢰도에서 수식 (2)과 같이 계산된다.

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

식 (2)에서 TDG에 의한 불확도는 그 값이 너무나도 작기 때문에 무시가능하며 이 경우 분석소프트웨어의 확장불확도는 최종적으로 다음과 같이 계산된다.

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

## 3. 평가결과

### 3.1 Crest 분석알고리즘의 측정불확도

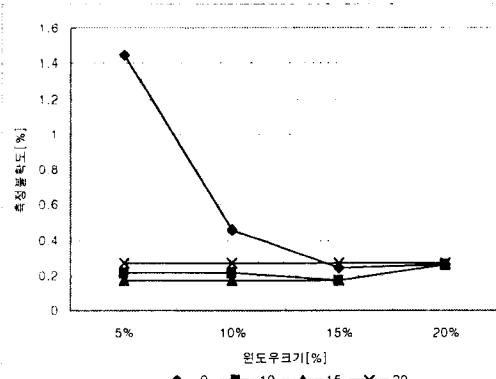


그림 1. 원도우 크기에 따른 Crest 분석알고리즘의 측정불확도

평가에 사용된 Crest 분석알고리즘은 주어진 구간의 샘플들을 원도우를 이동하며 반복적으로 curve fitting한

후 crest값을 계산한다. 반복적인 fitting을 통해 노이즈에 의한 crest값의 오류를 최소화 할 수 있다. 또한, 최적의 원도우의 크기를 결정하기 위해 window의 크기를 변화시키며 분석하였으며 결과는 그림 1과 같다. 원도우의 크기는 [%]로 표시하였으며 신호의 주기에 대한 비율을 의미한다.

사용된 reference curve는 Group1의 #6 curve로서 반복적인 fitting을 하지 않았을 경우 가장 큰 측정불확도를 나타낸 curve이다.

원도우의 크기가 정해지게 되면 원도우에 해당하는 샘플들을 추출하여 분석에 사용해야 하는데, DC 성분이 많은 신호의 경우 초기 minor loop에서 상대적으로 샘플의 수가 너무 적게 추출되어 분석에 오류를 발생하는 경우가 있어 원도우의 최소크기를 규정해야 한다. 그림 2는 최소 샘플 수에 따른 crest 분석알고리즘의 측정불확도를 보여주고 있다.

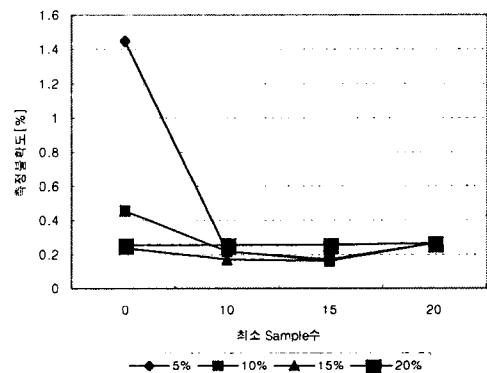


그림 2. 최소 샘플 수에 따른 crest 분석알고리즘의 측정불확도

STL의 technical report에서는 최소 20 샘플이상이 필요한 것으로 제시되었지만, 그림 2에서와 같이 최소 샘플 수의 크기는 10샘플이상만 되어도 어느 정도 정확한 값을 분석할 수 있음을 알 수 있다.

이러한 결과를 이용하여 분석한 Group1, 2, 3 curve들의 모든 crest 값들에서의 측정불확도는 그림 3과 같으며, 각 crest지점에서의 측정불확도 중 가장 큰 값을 그 curve의 대표값으로 나타내었다.

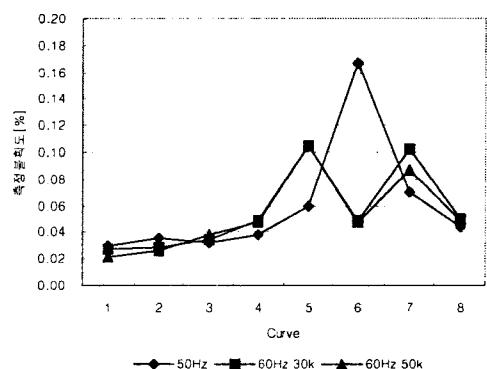


그림 3. crest 분석알고리즘의 측정불확도

평가결과 전체적으로 curve의 No.가 증가할수록 측정불확도가 커지는 것으로 나타났다. 이는 No.가 증가할수

록 noise나 offset등이 curve에 포함되기 때문이다. Crest 분석알고리즘은 노이즈가 포함된 Group 1의 curve 6번에서 가장 큰 측정불확도를 나타내고 있다. 그러나 최대 값이라 하더라도 STL에서 제시하는 0.2[%]를 넘지 않고 있음을 인수 있다.

### 3.2 RMS 분석알고리즘의 측정불확도

그림 4는 RMS 분석알고리즘의 측정불확도를 나타내고 있다. RMS는 각 Group내의 8개 curve들의 모든 crest점에서 분석한 결과이다. 전체적으로 STL에서 제시한 0.4[%]를 넘지 않고 있음을 알 수 있다.

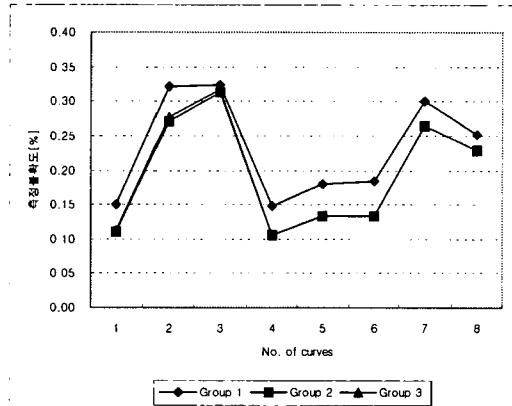


그림 4. RMS 분석알고리즘의 측정불확도

### 3.3 %DC 분석알고리즘의 측정불확도

%DC 는 특정지점에서의 DC-component의 비율을 나타내며 수식 (4)와 같이 계산되며 각각의 파라미터의 의미는 그림 5와 같다[3].

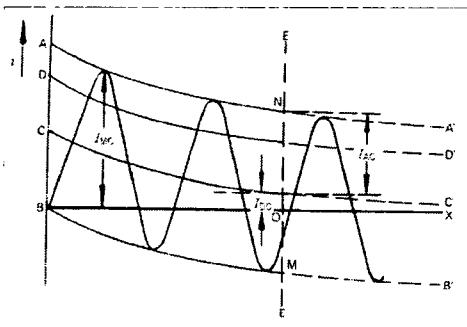


그림 5. %DC 계산

$$\%DC = \frac{ON - OM}{MN} \times 100 [\%] \quad (4)$$

분석알고리즘은 분석지점에서의 전, 후 crest 값을 이용하여 exponential curve fitting을 하여  $\overline{AA'}$ ,  $\overline{BB'}$ ,  $\overline{CC'}$ 를 구한 후 %DC를 계산하였다.

실제 분석에 사용된 지점은 모든 crest지점이며 분석 후 reference table과 비교하여 측정불확도를 평가하였다. 단, %DC가 20[%] 미만인 지점은 측정불확도 평가대상에서 제외하였다. 그림 6은 그 결과를 나타내고 있다.

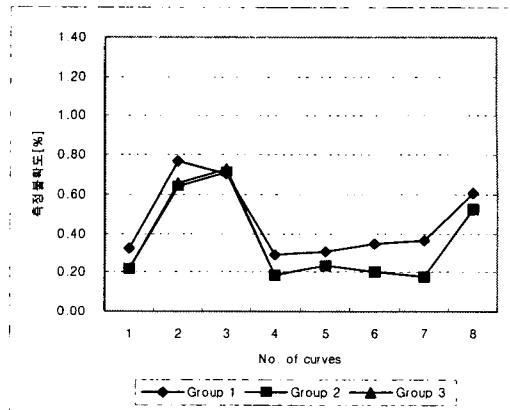


그림 6. %DC 분석알고리즘의 측정불확도

## 4. 결 론

본 논문에서는 대전력시험시 사용되는 분석프로그램의 신뢰성을 평가하여 보았다. 신뢰성 평가를 위해 STL에서 제시한 TDG를 이용하였고, 평가의 신뢰성을 높이기 위하여 실제 시험환경을 고려하여 reference curve들을 추가적으로 생성 및 평가에 사용하였다.

본 논문에서 고려된 신뢰성 평가 항목은 crest, RMS, %DC 분석알고리즘이며 그 결과는 다음과 같다.

항목	STL의 reference	Results
Peak	$\leq 0.2\%$	$\leq 0.17\%$
RMS	$\leq 0.4\%$	$\leq 0.32\%$
%DC	$\leq 2.0\%$	$\leq 0.8\%$

평가결과 분석프로그램 알고리즘의 측정불확도는 STL에서 제시하는 범위를 모두 넘지 않는 것으로 나타났다. STL의 technical report에서 제시한 time과 관련된 측정 불확도 평가는, 객관적인 평가방법이 자세히 제시되지 않아 본 논문의 평가에서는 제외하였다. 이러한 부분에 대해서 technical report에 추가적인 내용 반영 및 측정 불확도 평가부분 표현 수정, TDG software의 개선등을 STL TG A에 요청한 상태이며, 최근 TG A meeting에서 이러한 요구에 대한 논의가 있었다. 논의 끝에 추가적인 작업을 진행하기로 하였으며 추후 amendment가 발간되면 나머지 알고리즘에 대한 추가적인 신뢰성 평가가 요구되리라 생각된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] STL, "Harmonization of data processing methods for high power laboratories", September, 2004
- [2] ISO Guide, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- [3] IEC 62271-100, High-voltage switchgear and controlgear Part 100:High-voltage alternating-current circuit-breakers, 2003.
- [4] 이 동준, 노 창일, 정 흥수, 김 선구, 김 원만, 나 대열, 김 철환, "대전력시험을 위한 측정시스템의 평가", 대한전기학회 하계학술대회, 2002
- [5] 이 동준, 노 창일, 정 흥수, 김 선구, 김 원만, 나 대열, 김 철환, "전류를 이용한 단락시험회로의 역률 측정 알고리즘에 대한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, 2003