

단락시험설비의 측정 전류 불확도 추정에 관한 연구

김동수*, 이기택*, 류재남*, 김철환**
 한국전기연구원*, 성균관대학교**

A Study on the Evaluation of Uncertainty in Current Measurement for the Short-circuit Test System

Dong-Su Kim*, Ki-Taek Lee*, Jae-Nam Ryu*, Chul-Hwan Kim**
 Korea Electrotechnology Research Institute*, Sungkyunkwan University**

Abstract - 저압 차단기의 단락성능평가를 위한 단락시험설비의 측정 시스템은 고전압, 대전류를 안전하고 정밀하게 측정하기 위해 여러 가지 측정기들로 시스템으로 구성되어 있으며, 시험 신뢰도의 확보를 위해 측정 불확도에 대한 평가가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 표준 Shunt와 비교시험을 통하여 전류 측정 시스템의 측정 불확도를 추정하고자 한다.

1. 서 론

측정 불확도는 측정 결과에 관련하여 측정량을 합리적으로 추정한 값들의 분산 특성을 나타내는 매개변수로 정의하며, 측정값의 불확실한 정도를 나타내는 것이라 할 수 있다. 측정 불확도는 참값이 어떤 범위 내에 일정한 확률로 존재한다고 추정하는 범위로 오차의 개념에 근거하여 오차 요인을 파악함으로써 산정이 가능하다. 측정 불확도 계산을 위해서는 먼저 측정량에 대한 모델 식을 함수로서 표현하고, 측정 결과의 불확도 원인이 되는 각 요소의 추정 표준편차(Estimated standard deviation)인 표준 불확도(Standard Uncertainty)를 산출한다. 표준 불확도는 입력 값의 불확실한 정도를 나타내는 표준편차이므로 이 값을 모델 식에 적용하면 측정(출력)값의 불확실한 정도를 나타내는 합성 표준 불확도(Combined Standard Uncertainty)를 계산할 수 있다. 계산된 합성 표준 불확도를 신뢰수준에 따라 통계적인 구간 추정을 하면 측정량의 합리적인 추정 값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 확장 불확도(Expanded Uncertainty)를 구할 수 있다[1].

단락 시험설비의 전류 측정 시스템은 Rogowski coil과 적분기, Optical isolator, DAS(Data Acquisition System)으로 구성되며[2], 전류 측정 시스템의 측정 불확도 산출을 위하여 표준 Shunt와 비교 시험을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 비교 시험을 위한 전류 측정 시스템의 구성

2.1.1 표준 Shunt

단락 시험설비의 전류 측정 시스템의 측정 불확도 산출을 위하여 Short-circuit Testing Liaison (STL)의 표준 Shunt와 비교 시험을 실시한 HP2 Shunt를 사용하였으며, 주요 제원은 다음 표 1과 같다.



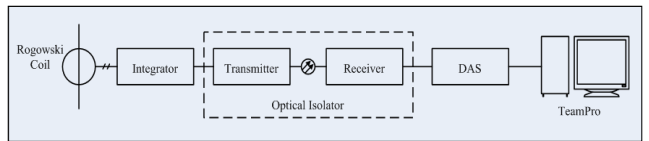
<그림 1> HP Shunt

<표 1> HP2 Shunt의 주요 제원

Manufacturer	CESI
Model	HCCS
Nominal resistance	51.4985 $\mu\Omega$
Rated Current	40 kA (104 kAp), 1s
Operation cycle	1 s ON - 8 min OFF
Material	Nichrome 80(Ni-Cr)
Corrected resistance	51.3867 $\mu\Omega$
Expanded Uncertainty	0.61 % (k=2)

2.1.2 전류 측정 시스템의 구성

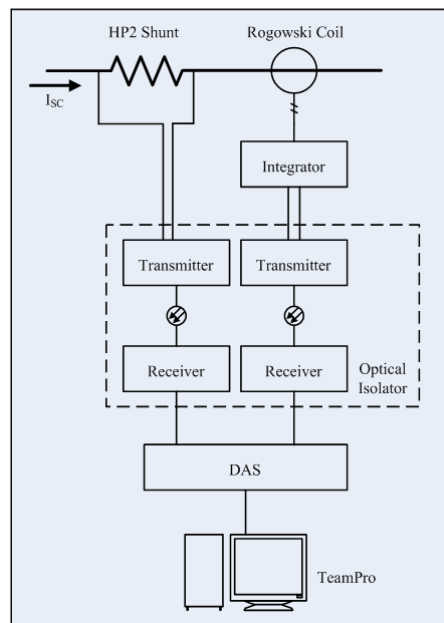
단락 전류 측정을 위한 전류 측정 시스템은 다음 그림 2와 같이 구성된다.



<그림 2> 전류 측정 시스템

2.2 비교 시험을 위한 측정 시스템의 구성

표준 Shunt인 HP2 Shunt와 단락 시험설비의 전류 측정 시스템을 비교하기 위하여 다음 그림 3과 같이 배치하고 시험을 실시하였다.



<그림 3> 비교 시험을 위한 측정 시스템의 구성

2.3 측정 시스템에 대한 모델 식

비교 시험을 위한 측정 시스템의 모델 식은 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$E_x = (I_{STD} + \delta I_{STD1} + \delta I_{STD2}) - (I_{Mea} + \delta I_{Mea1} + \delta I_{Mea2} + \delta I_{Mea3}) \quad (1)$$

- 여기에서, E_x : 측정 전류의 오차
- I_{STD} : HP2 Shunt로 측정된 전류
- δI_{STD1} : HP2 Shunt의 합성 표준 불확도
- δI_{STD2} : Optical isolator 및 DAS의 합성 표준 불확도
- I_{Mea} : Rogowski Coil 및 적분기로 측정된 전류
- δI_{Mea1} : Scale factor test에 의한 표준 불확도
- δI_{Mea2} : Non-linearity test에 의한 표준 불확도
- δI_{Mea3} : Optical isolator 및 DAS의 합성 표준 불확도

2.4 비교시험 결과

2.4.1 Scale Factor Test

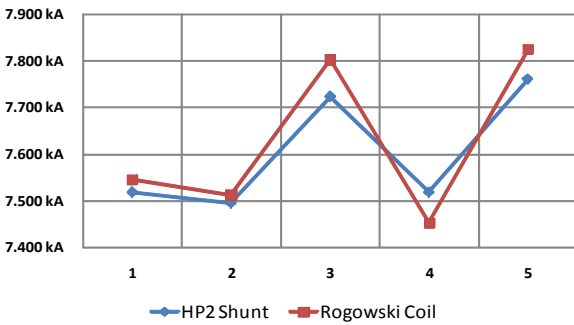
Scale factor test는 5 kA(rms)의 대칭전류로 실시하였으며, 측정 결과는 다음 표2와 같다.

〈표 2〉 Scale Factor Test 결과

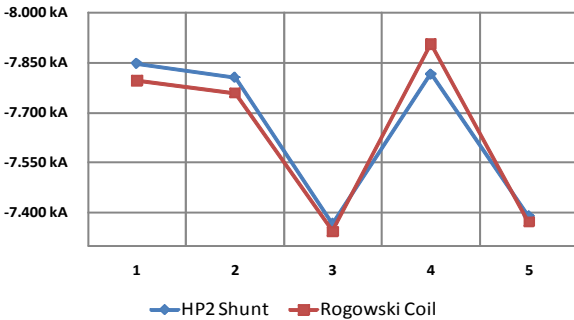
Peak	Std. Shunt	Rogowski Coil	Deviation
1	7.519 kA	7.546 kA	0.359 %
2	7.496 kA	7.513 kA	0.227 %
3	7.723 kA	7.802 kA	1.023 %
4	7.519 kA	7.453 kA	-0.878 %
5	7.760 kA	7.824 kA	0.825 %
6	-7.848 kA	-7.797 kA	-0.650 %
7	-7.806 kA	-7.759 kA	-0.602 %
8	-7.366 kA	-7.343 kA	-0.312 %
9	-7.816 kA	-7.906 kA	1.151 %
10	-7.389 kA	-7.371 kA	-0.244 %
평균			0.090 %
표준편차			0.735 %
표준불확도 (δI_{Mea1})			0.232 %

Scale factor 의한 표준불확도(δI_{Mea1})는 10회 측정값에 대한 편차를 A-type 불확도로 산출하였다[3].

Scale Factor Test (at 5 kA Symmetrical)



Scale Factor Test (at 5 kA Symmetrical)

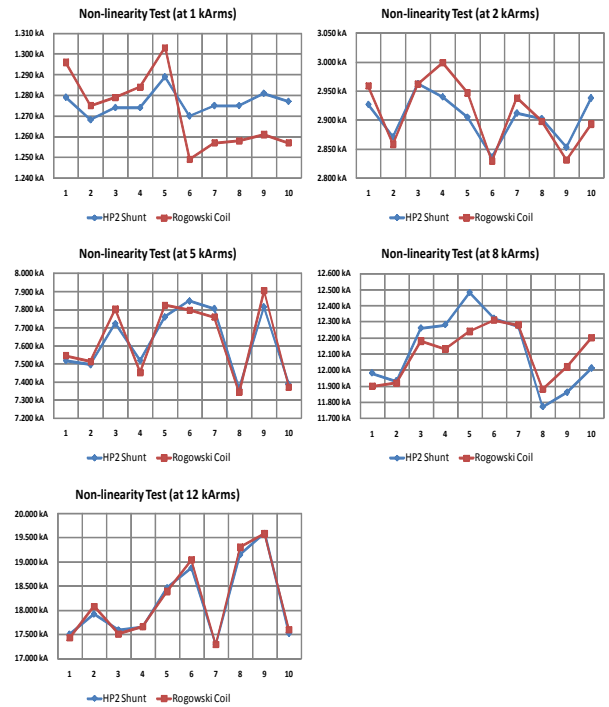


〈그림 4〉 Scale Factor Test 결과

시험 전 Rogowski coil에 대한 Scale factor는 5.000 kA/V로 설정하고 Scale factor test를 실시하였으며, 시험 결과 Scale factor에 대한 편차의 평균은 약 0.090 %로 Scale factor를 5.004 kA/V로 재설정하고 Non-linearity test를 실시하였다.

2.4.2 Non-linearity Test

Rogowski coil의 Non-linearity는 1 kA, 2 kA, 5 kA, 8 kA, 12 kA(rms)의 비대칭 전류에 대하여 피크 값을 측정하였으며, 그 결과는 다음 그림 5와 같다. Non-linearity test에 의한 표준불확도(δI_{Mea2})는 최대 편차를 직사각형 분포로 가정하여 계산하였다[3]. 그 결과 최대 편차 2.007 %로 δI_{Mea2} 는 1.159 %로 계산할 수 있다.



〈그림 5〉 Non-linearity Test 결과

2.4.3 전류 측정 시스템의 측정불확도 산출

전류 측정 시스템의 측정불확도 산출의 위한 표준불확도는 다음 표 3과 같으며, 전체 전류 측정 시스템의 합성표준불확도는 약 1.541 %이다. 여기에서 유효자유도는 ∞ 로 할 수 있으며, 신뢰수준 약 95 %, $k = 2$ 로 계산하면 확장불확도는 약 3.1 %로 추정할 수 있다.

〈표 3〉 표준불확도 산출 결과

표준불확도	자유도	비고
δI_{STD1}	0.305 %	∞ HP2 Shunt 제원 (표 1 참조)
δI_{STD2}	0.665 %	∞ Isolator 및 DAS 교정성적서 참조
δI_{Mea1}	0.232 %	9 Scale factor test 결과
δI_{Mea2}	1.159 %	∞ Non-linearity test 결과
δI_{Mea3}	0.665 %	∞ Isolator 및 DAS 교정성적서 참조

3. 결 론

본 논문에서는 표준 Shunt를 사용한 비교시험을 통하여 단락 시험 설비의 전류 측정 시스템에 대한 측정불확도를 산출하였다. 비교 시험 결과 전류 측정 시스템의 측정불확도는 신뢰수준 약 95 %, $k = 2$ 에서 3.1 %로 추정되었다. 저압 차단기에 대한 표준에서 전류의 정확도는 +5 %로 규정[4]하고 있으므로 시험에 대한 신뢰성을 유지하기 위하여 저압 차단기의 단락시험 시에는 반드시 측정시스템의 불확도도 함께 고려되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1995
- [2] 김동수, 김봉성, 김철환, "단락시험설비의 측정시스템 교정에 관한 연구", 2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p955~956, 2007
- [3] "EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", 1999
- [4] IEC 60947-1 Low-voltage Switchgear and Controlgear - Part 1: General Rules, Ed 5.1, 2011