

IEC Standard의 밸브 절연 시험 방법 분석

최용길*, 이육화* 정용호*, 나현국**, 이덕진**, 문형배**
 LS산전*, 한국전력공사**

Analysis for Valve insulation test method of IEC standard

Yong-Kil Choi*, Wook-Hwa Lee* Yong-Ho Chung*, H.K.Na**, D.J.Lee**, H.B.Moon**
 LSI Co., Ltd.*, KEPCO**

Abstract - 본 논문은 HVDC 밸브 절연 시험 방법에 대한 분석 및 고전압 절연 시험에 대한 IEC 규격 분석을 다루었다. 본 논문에서는 고전압 국제 규격 및 시험 방법을 분석함으로써, 저전압 절연 시험과의 차이, 고전압 절연 시험의 설계 및 시험, 국제 규격의 이해를 돕고자 함을 그 목적으로 한다.

1. 서 론

HVDC 밸브에 대한 전기 시험은 크게 Type 시험과 production 시험으로 나뉘며, Type 시험은 동작시험과 절연시험으로 구분된다. 동작시험은 합성 시험 설비등을 이용하여, 밸브의 이상 유무를 확인함을 목적으로 한다. 절연 시험은 시험 대상을 밸브 지지대, Multiple 밸브 유닛(이하 MVU), Valve로 나누어 시험 수행을 한다. 본 논문에서는 이 세 가지 시험 대상을 기준으로 시험 방법 분석을 기술토록 한다.

2. 본 론

2.1 밸브 지지대의 절연 시험

밸브 지지대와 밸브간의 절연 시험을 수행하며, 밸브 지지대의 절연 능력 검증을 목적으로 한다.

2.1.1 밸브 지지대 직류 전압 시험

밸브의 직류 전압 단자와 밸브 지지대 사이에 시험 전압을 인가하여 절연 능력을 검증 한다. 시험 전압은 아래 수식과 같다.

$$U_{tds} = \pm U_{dms} \times k_1 \times k_t$$

여기에서,

U_{dms} 는 밸브 지지대에 걸리는 정상상태 최대 운전 전압

k_1 는 시험 안전 요소;

$k_1 = 1$ 분 시험에 대해서 1.6;

$k_1 = 3$ 시간 시험에 대해서 1.3;

k_t 는 주변 환경에 따른 수정 요소;

$k_t = 3$ 시간 시험에 대해서 1.0;

시험 결과에 대한 판정은 분당 15펄스가 300pC를 초과하면 안 되고, 분당 7펄스 일 경우에는 500pC를 초과해서는 안 된다. 분당 3펄스인 경우에는 1000pC, 분당 1펄스일 경우에는 2000pC를 초과해서는 안 된다.

2.1.2 밸브 지지대 교류 전압 시험

밸브의 직류 전압 단자와 밸브 지지대 사이에 시험 전압을 인가하여 절연 능력을 검증 한다. 시험 전압은 아래 수식과 같다.

$$U_{tas} = \frac{U_{ms}}{\sqrt{2}} \times k_2 \times k_t \times k_r$$

여기에서,

U_{ms} 는 밸브 지지대에 걸리는 최대 피크 반복 운전 전압;

U_{tas1} 은 1분 시험 전압;

U_{tas2} 는 30분 시험 전압;

k_2 는 시험 안전 요소;

$k_2 = 1$ 분 시험에 대해서 1.3;

$k_2 = 30$ 분 시험에 대해서 1.15;

k_t 는 주변 환경에 따른 수정 요소;

$k_t = 30$ 분 시험에 대해서 1.0;

k_r 은 순간 과전압 요소;

$k_r = 30$ 분 시험에 대해서 1.0;

시험 결과에 대한 판정은 마지막 1분동안 200pC를 넘지 않으면 된다.

2.1.3 밸브 지지대 스위칭 임펄스 시험

이 시험은 +, - 극성의 주 단자와 접지사이에 임펄스를 각각 3번 인가하여 시험한다. (파형은 규격 IEC60060 참조)

2.1.4 밸브 지지대 낙뢰 임펄스 시험

이 시험은 +, - 극성의 주 단자와 접지사이에 임펄스를 각각 3번 인가하여 시험한다. (파형은 규격 IEC60060 참조)

2.2 Multiple 밸브 유닛 (MVU) 절연 시험

시험 대상과 MVU간의 구성에 대한 절연 검증을 목적으로 한다.

2.2.1 접지와 MVU 직류 전압 시험

직류 시험 전압은 MVU 직류전압 단자와 접지 간에 최대값을 적용한다.

$$U_{tdm} = \pm U_{dmm} \times k_3 \times k_t$$

여기에서,

U_{dmm} 은 MVU의 최대 전압 단자와 접지에 걸리는 정상상태 운전 최대 직류 전압

k_3 은 시험 안전 요소;

$k_3 = 1$ 분 시험에 대해서 1.6;

$k_3 = 3$ 시간 시험에 대해서 1.3;

k_t 는 주변 환경에 따른 수정 요소;

$k_t = 3$ 시간 시험에 대해서 1.0;

시험 결과에 대한 판정은 분당 15펄스가 300pC를 초과하면 안 되고, 분당 7펄스 일 경우에는 500pC를 초과해서는 안 된다. 분당 3펄스인 경우에는 1000pC, 분당 1펄스일 경우에는 2000pC를 초과해서는 안 된다.

2.2.2 MVU 교류 전압 시험

MVU 세 단자 사이에 교류 전압 시험을 적용한다.

$$U_{tam} = \pm \frac{U_{mm}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_r \times k_t$$

여기에서,

U_{mm} 은 정상상태 동작 동안 MVU 단자 사이에 걸리는 최대 피크 반복 운전 전압

k_4 은 시험 안전 요소;

$k_4 = 1$ 분 시험에 대해서 1.3;

$k_4 = 30$ 분 시험에 대해서 1.15;

k_r 은 순간 과전압 요소;

$k_r = 30$ 분 시험에 대해서 1.0;

k_t 는 주변 환경에 따른 수정 요소;

$k_t = 30$ 분 시험에 대해서 1.0;

시험 결과에 대한 판정은 마지막 1분동안 200pC를 넘지 않으면 된다.

2.2.3 MVU 스위칭 임펄스 시험

MVU 스위칭 임펄스 시험 전압은 MVU 전압 단자와 접지 사이에 적용한다.

$$U_{t_{sm}} = \pm SIPL_m \times k_5 \times k_t$$

여기에서,
 $SIPL_m$ 은 MVU전압 단자와 접지 사이에 연결된 피뢰기를 고려한 절연 협조에 의해 정의된 스위칭 임펄스 보호 레벨이다.
 k_5 는 시험 안전 요소;
 $k_5 = 1.15$;
 k_t 는 주변 환경에 따른 수정 요소;

2.2.4 MVU 낙뢰 임펄스 시험

MVU 낙뢰 임펄스 시험 전압은 MVU 전압 단자와 접지 사이에 적용한다

$$U_{tlm} = \pm LIPL_m \times k_6 \times k_t$$

여기에서,
 $LIPL_m$ 은 MVU전압 단자와 접지 사이에 연결된 피뢰기를 고려한 절연 협조에 의해 정의된 낙뢰 임펄스 보호 레벨이다.
 k_5 는 시험 안전 요소;
 $k_5 = 1.15$;
 k_t 는 주변 환경에 따른 수정 요소;

2.3 밸브 단자 사이의 절연 시험

이 시험들은 아래 사항들의 검증을 목적으로 한다.

- 1) 밸브의 사양에 따른 과전압의 내전압 검증
- 2) 모든 내부 과전압 보호회로 동작 검증
- 3) 부분 방전이 사양에 따른 시험조건에서 규정 제한 이내인지 검증
- 4) 내부 직류 전압 분배 회로의 충분한 전력 정격 검증
- 5) 밸브 전자 회로의 올바른 동작과 장애 내성 검증
- 6) 밸브가 손상 없이 사양에 따른 과전압에서 접호되는지 검증

2.3.1 밸브 직류 전압 시험

직류 시험 전압원은 밸브의 주 단자와 접지 사이에 적용한다.

$$U_{tdv} = \pm U_{dn} \times k_7$$

여기에서,
 U_{dn} 은 정격 six-pulse bridge 전압;
 k_7 는 시험 안전 요소;
 $k_7 = 1$ 분 시험에 대해서 1.6;
 $k_7 = 3$ 시간 시험에 대해서 0.8

시험 결과에 대한 판정은 분당 15펄스가 300pC을 초과하면 안 되고, 분당 7펄스 일 경우에는 500pC을 초과해서는 안 된다. 분당 3펄스인 경우에는 1000pC, 분당 1펄스일 경우에는 2000pC을 초과해서는 안 된다.

2.3.2 밸브 교류 전압 시험

15초 시험 전압

$$U_{tav1r} = \sqrt{2} U_{vomax} \times k_r \times k_c \times k_8$$

그리고,

$$U_{tav1d} = \sqrt{2} U_{vomax} \times k_r \times k_8$$

여기에서,
 U_{tav1r} 은 역방향에서 요구되는 15초 시험 전압의 최대치;
 U_{tav1d} 는 순방향에서 요구되는 15초 시험 전압의 최대치;
 U_{vomax} 는 변압기의 밸브 쪽 정상상태 무부하 최대 선간 전압;
 k_r 은 순간 과전압 요소;
 k_c 는 역방향에서 정류 과도 요소;
 k_8 은 시험 안전 요소;
 $k_8 = 1.10$;

30분 시험 전압 U_{tav2} 의 실효치는,

$$U_{tav2} = \frac{U_{ppv}}{2\sqrt{2}} \times k_9$$

여기에서,
 U_{ppv} 는 밸브에 걸리는 피크 - 피크 정상상태 운전 전압의 최대 값
 k_9 는 시험 안전 요소;
 $k_9 = 1.15$;

시험 전압 U_{tav1} 을 15초 적용하고 나서, 10분동안 시험 전압 U_{tav2} 을 적용한다. 이 때, 마지막 10분 동안 부분 방전 값은 200pC을 초과해서는 안 된다. 10분 시험 마지막 구간에서 시험 전압을 U_{tav3} 로 줄이고 30분 동안 이 레벨을 유지한다.

$$U_{tav3} = k_9 \times U_{vrms}$$

여기에서,
 U_{vrms} 는 최악 연속 동작 조건하에 밸브 전압의 최대 실효치

2.3.3 밸브 스위칭 임펄스 시험

IEC60060에 따른 표준 스위칭 임펄스 전압 파형을 사용한다.

$$U_{t_{sv}} = \pm SIPL_V \times k_{10}$$

여기에서, $SIPL_V$ 은 밸브 피뢰기의 스위칭 임펄스 보호 레벨;
 k_{10} 은 시험 안전 요소;

2.3.4 밸브 낙뢰 임펄스 시험

IEC60060에 따른 표준 낙뢰 임펄스 전압 파형을 사용한다.

$$U_{tlv} = \pm LIPL_V \times k_{11}$$

여기에서, $LIPL_V$ 은 밸브 피뢰기의 낙뢰 임펄스 보호 레벨;
 k_{11} 은 시험 안전 요소;

2.3.5 밸브 steep front 임펄스 시험

IEC60060에 따른 표준 steep front 임펄스 전압 파형을 사용한다.

$$U_{tsfv} = \pm STIPL_V \times k_{12}$$

여기에서, $STIPL_V$ 은 밸브 피뢰기의 낙뢰 임펄스 보호 레벨;
 k_{12} 은 시험 안전 요소;

3. 결 론

시험 분석 결과, 고전압 절연 시험은 저전압 절연 시험에서 제일 중요한 사항에 대한 안전 요소는 고려하지 않는다. 이에 대한 의미는 AC1000V 이상의 장치에서는 사람이 접근하면 안 되기 때문이다. 때문에, 절연 파괴 기준은 위에서 기술한 것과 같이 분당 부분 방전 값으로 시험의 성공 여부를 판정함을 알 수 있다. 또한, 직류 전압 및 교류 전압으로 내전압 능력을 검증하며, 시스템에 인가될 있는 임펄스 전압으로 순간적인 절연 파괴를 검증함을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC standard 60700-1, Edition 1.2 2008-11.
- [2] IEC standard 60060-1, Second Edition, 1989-11.