

# A study of the dielectric test of thyristor valve for HVDC conversion

Teag-sun Jung\*, Jun-bum Kwon\*, Seung-taek Baek\*, Ji-ho Yun\*, Yong-ho Jung\*

LSIS

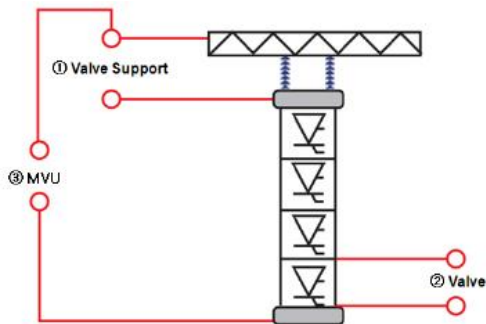
LS-ro, Dongang-gu, Anyang-si, Gyeonggi-Do 431-848, KOREA

## Abstract

전력 수요 급증과 전력 기술 발전으로 인해, 오늘날 HVDC 기술이 널리 사용되고 있다. 또한 지구 온난화, 녹색 에너지 개발, 스마트 그리드 사업 등으로 인해 세계적으로 HVDC 수요가 급증하고 있는 추세이다. 국내에서도 제주-해남간 HVDC 1호기가 이미 운영 중에 있으며, 제주-진도간 HVDC 2호기가 2012년 완공을 목표로 현재 설치 중에 있다. 2009년 HVDC 사업에 진출한 LS산전은 지난해 변환용 변압기를 국내 최초로 생산한 데 이어, HVDC 핵심 요소인 사이리스터 밸브(thyristor valve)도 개발 완료 하였다. 사이리스터 밸브는 HVDC 시스템의 변환설비 중 심장 역할을 하는 핵심적인 설비로 교류를 직류로, 또는 직류를 교류로 변환시켜 교류 계통에 전력을 공급하는 장치로, 사용하기 전에 성능을 충분히 검증해야 한다. LS산전은 독자적으로 개발한 사이리스터 밸브를 IEC 규격에 따라 엄격히 시험하여 성능을 입증하였다. 본 논문에서는 개발 시험의 일부로 수행한 사이리스터 밸브에 대한 절연 시험(dielectric test)를 소개하고자 한다.

## 1. Introduction

사이리스터 밸브는 교류를 직류로, 직류를 교류로 변환시켜 교류 계통에 전력을 공급하는 장치로 HVDC 시스템에서 심장 역할을 하는 핵심 설비이다. 사이리스터 밸브는 사용하기 전에 절연 성능을 충분히 검증하여야 한다. IEC 60700-1에 의하면 사이리스터 밸브에 대한 절연 시험은 [그림 1]과 같이 밸브 지지물(valve support)과 밸브 단자(valve terminals), 다중 밸브(multiple valve units)에 대한 시험으로 세분할 수 있으며, 시험 대상별 시험 종류는 [표 1]과 같다. 본 논문에서는 밸브 단자에 대한 시험 내용을 중심으로 소개하고자 한다.



[그림 1] 시험 대상 별 시험 종류

[표 1] 전압 형태와 시험 대상물에 의한 구분

	AC	DC	LI	SI	SF
Valve support	O	O	O	O	New insulating materials
Valve	O	O	O	O	O
Multiple valve unit	If applicable	O	O	O	If necessary

LI : Lightning impulse  
SI : Switching impulse  
SF : Steep front impulse

## 2. Main subject

사이리스터 밸브는 운전 중 밸브 게이트 유닛(valve gate unit)을 통하여 제어신호와 상태신호를 VBE(valve based electronics)와 교환하고, 보호 레벨 이상의 전압에 대해서는 보호 점호(protective firing)한다. 이때 필요한 전원을 계통으로부터 얻는다. 이러한 보호 점호 기능은 절연 시험 중에도 검증되어야 한다. AC와 DC 시험인 경우, 인가되는 시험 전압이 전원으로 사용될 수 있으므로 별도의 AC 전원을 인가할 필요가 없다. 그러나 임펄스 시험인 경우, 밸브 게이트 유닛용 전원으로 사이리스터 밸브에 전압이 인가된 상태에서 임펄스 전압이 인가되어야 한다.

### 2.1 Valve AC 절연 시험

15초 시험 전압의 50% 이하에서 10초 내로 15초 시험 전압까지 상승시키고 15초 동안 유지한 다음, 30분 시험 전압으로 내려서 30분 동안 유지한다. 마지막 1분 동안 측정된 PD 레벨이 200 pC를 초과해서는 안 된다.

### 2.2 Valve DC 절연 시험

1분 시험 전압의 50% 이하에서 10초 내로 1분 시험 전압까지 상승시키고 1분 동안 유지한 다음, 3시간 시험 전압으로 내려서 3시간 동안 유지한다. 마지막 1시간 동안 측정된 PD 레벨 별 분당 PD 발생율은 [표 2]와 같다. 양극성에 대해서도 동일하게 시험한다.

[표 2] PD 레벨별 허용 가능한 PD 발생율

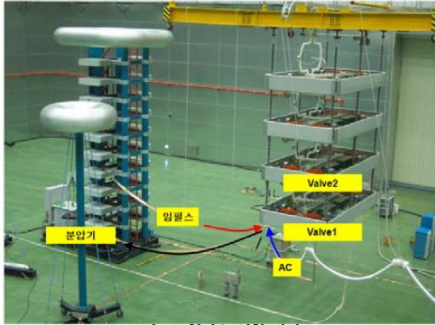
	300 pC	500 pC	1000 pC	2000 pC
분당 PD 발생율	≤ 15	≤ 7	≤ 3	≤ 1

### 2.3 Valve Impulse 절연 시험

밸브 임펄스 시험은 LI, SI, SF 시험으로 구성된다.. 정극성 전압에서 밸브가 보호 점호(protective firing)되면, 게이트 유닛에 AC 전압이 인가된 상태에서 보호 레벨 미만의 정극성 전압으로 추가 시험을 진행한다.

### 2.3.1 시험 회로

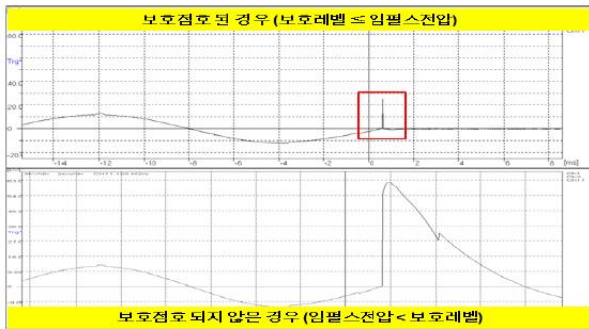
임펄스 내압기, 임펄스 시험용 valve1, EMC 시험용 valve 2, 게이트 유닛, 전원용 AC 내압기 2대로 구성된다. EMC 시험은 valve 1에 임펄스 전압이 인가되었을 때, valve 2의 영향 정도를 평가하는 것이다.



[그림 3] 임펄스 시험 사진

### 2.3.2 시험 파형

시험 전압은 밸브 게이트 유닛 전원용 AC 전압과 임펄스 전압으로 구성된다. [그림 4]는 임펄스 전압과 밸브의 보호점호 레벨에 따라 보호 점호된 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 파형이다.



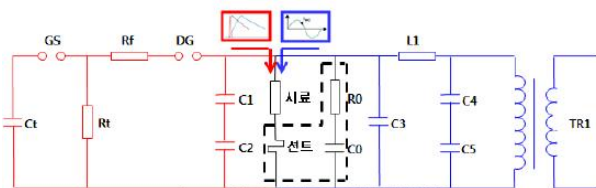
[그림 4] 개폐 충격 전압 시험 파형

### 2.4 Valve non-periodic firing test

본 시험은 싸이리스터와 관련 전기 회로가 서비스 상태에서 발생할 수 있는 최대 전압에서 턴-온 될 때 인가되는 전압과 전류 스트레스에 대한 내력을 검증하는 시험이다. 시험 방법으로는 밸브 시험에 적합한 병렬 콘덴서 법과 밸브 섹션 시험에 적합한 병렬 어레스터 법이 있다. 본 논문에서는 병렬 콘덴서 법을 적용하였다.

#### 2.4.1 시험 회로

서지 전류 발생용 저항 R0와 콘덴서 C0가 병렬로 삽입된 것을 제외하고는 임펄스 시험 회로와 동일하다. 임펄스 전압이 인가되면 콘덴서 C0와 밸브 스너버 회로가 충전되고, 턴-온 시 이들에 충전된 전압이 밸브를 통해 방전된다. 이때 상당한 서지 전류가 밸브를 통해 흐른다.

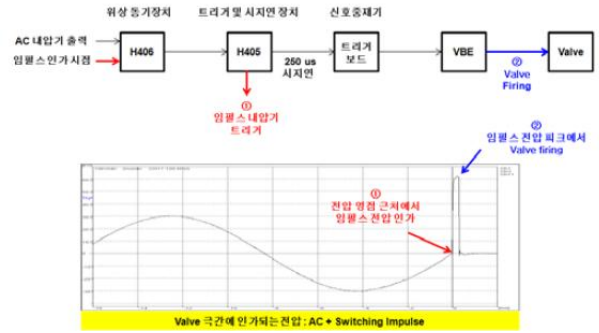


[그림 5] 밸브 비반복 점호 시험 회로

#### 2.4.2 AC 내압기 위상과 임펄스 내압기 인가 시점의 동기

본 시험 뿐만 아니라 모든 임펄스 시험에서, 임펄스 전압은 밸브 게이트 유닛에 인가되는 AC 전압이

부극성에서 정극성으로 바뀌는 영점 근처에서 인가되어야 한다.



[그림 6] 위상 동기 방법

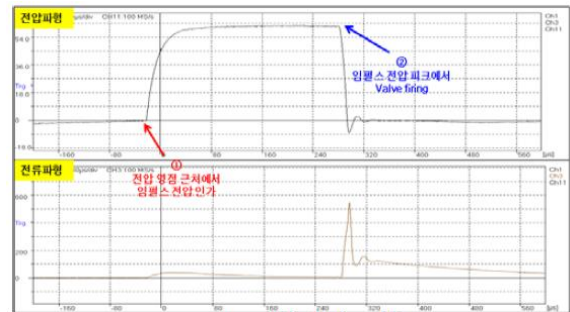
임펄스가 인가 순간에 밸브 전압은 다음 조건을 만족해야 한다.

$$-0.01 \times V_{dms} \times (N_t - N_r) \leq \text{밸브 전압} \leq +0.31 \times V_{dms} \times (N_t - N_r)$$

$V_{dms}$  : non-repetitive peak forward surge voltage rating of thyristors  
 $N_t$  : the total number of series Thyristor levels in the valve  
 $N_r$  : the total number of redundant series Thyristor levels in the valve

### 2.4.3 AC 시험 파형

밸브 1이 점화되기 전까지, 임펄스 전압에 의해 리액터와 밸브 스너버 회로를 충전한다. 임펄스 전압 피크에서 밸브 1이 점호되면 C0와 밸브 스너버 회로에 충전된 전압이 밸브 1을 통해 방전한다. 이때 이들 전압에 의한 큰 합성 전류가 밸브를 통해 흐른다.



[그림 7] 전압 및 전류 파형

### 2.5 시험 결과 판정 기준

전체 타입 시험 동안 단락된 싸이리스터 레벨 수가 1을 초과하면 시험 실패로 시험 판정 기준은 엄격하다. 이를 위해 각각의 타입 시험 후, 싸이리스터 레벨의 단락이나 고장을 검사한다.

## 3. Conclusion

LS 산전은 ±250kV 200MW 시스템까지 적용 가능한 밸브를 독자적으로 개발하고, IEC 규격에 따라 절연 성능을 검증하였다. 향후 합성 시험 설비를 이용한 단락 사고 시험과 운전 시험을 진행하여 개발 시험을 완료할 예정이다.

## Reference

[1] IEC60700-1 Thyristor valves for HVDC power transmission Part-1 : Electrical testing 2008-11