

## HVDC Thyristor Valve 전압 스트레스 해석 기법

백승택\*, 이육화\*, 정용호\*  
LSIS\*

### Analysis on Voltage Stresses of HVDC Thyristor Valve

Seung-Taek Baek\*, Wook-Hwa Lee\*, Yong-Ho Chung\*  
LSIS\*

**Abstract** - HVDC 시스템에 적용되는 Thyristor Valve 설계 시 중요하게 고려해야 할 사항 중 Valve에서 발생하는 전압 및 전류에 대한 스트레스 분석이 있다. 이것은 실제 HVDC 운전 시 Valve에서 발생될 수 있는 과전압 및 써지성 전압에 대해서 Valve가 견딜 수 있는가에 대한 분석이다. 본 논문에서는 60MW ±80kV HVDC에 적용될 Valve의 전압 스트레스를 분석하였고 이 결과로 실제 설계된 Valve의 성능 및 thyristor의 제한치를 만족하는 가를 검증하였다.

#### 1. 서 론

최근 들어 국내에서도 HVDC에 대한 관심이 급증하고 있고, 세계적인 추세가 점차 HVDC의 직류전압이 증가하고 용량이 크게 증가하고 있는 실정이다. 일반적으로 HVDC에 사용되고 있는 thyristor valve는 12-펄스 브리지 구조를 적용하고 있고, 각각의 valve를 보호하기 위해서 병렬로 어레스터를 연결하고 있다. 이 어레스터의 기능은 써지 성 과도 전압 발생 시 Valve를 보호하는 것이 목적이다. 따라서 Valve 설계에 대한 검증을 위한 시험 시 Valve에 인가될 수 써지 전압을 계산하고 실제 thyristor가 이 전압을 견딜 수 있는 가를 평가한다. 본 논문은 thyristor에 발생할 수 있는 최악의 조건으로 전압 스트레스를 상황별로 분석한 결과를 기술하고 있다. 이 분석에 적용된 data는 60MW ±80kV pilot project의 실제 설계 data를 적용하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 Thyristor Voltage Stresses

HVDC Valve에서 발생하는 스트레스는 컨버터의 정상적 또는 비정상적 동작으로 인해서 발생할 수도 있고, 교류와 직류 시스템의 외란에 의해서도 발생이 된다. 이러한 외란에 실제 설계 및 제작된 valve가 견딜 수 있는가를 시험하기 위해 최악의 조건 하에서 valve의 전압 스트레스를 산정하고 설계된 valve가 이 최악의 스트레스를 견딜 수 있는가를 판단함으로써 valve의 성능을 검증한다.

##### 2.1.1 Thyristor DC voltage stress

HVDC의 12-펄스 컨버터에서 최대 연속적으로 걸릴 수 있는 DC전압은 83.2kV이다. (80kV × 1.04).

IEC standard 60700-1에 의하면, 1분 동안 Valve 양단에 인가되는 DC 시험 전압은 아래와 같다.

$$U_{tdv} = \pm U_{dn} \times k_7 = (180kV/2) \times 1.6 = 66.56kV$$

시험 중 직렬연결된 thyristor 중 가장 최대로 인가될 수 있는 직류전압은 아래와 같다.

$$K_{dc} \times 66.56 / N_{levl} = 1.05 \times 66.56 / 19 = 3.678kV$$

여기에서,  $K_{dc} = 1.05$  는 DC grading resistor의 오차허용도이다.  
 $N_{levl} = 20$  은 밸브에서 직렬연결된 thyristor의 최소수이다.

HVDC 밸브에서 thyristor의 가장 최악의 직류전압 스트레스는 선택된 thyristor의 continuous OFF state voltage보다 작아야 한다. 선정된 thyristor의  $V_{DCT}$ 가 5.1kV이므로 이 조건을 충분히 만족시키고 있다.

##### 2.1.2 Thyristor AC voltage stress in the forward direction

HVDC 컨버터 변압기의 밸브 측 권선전압의 최대 연속 동작 전압은 52.77kVpk이다. 밸브에 정방향으로 인가되어 시험되는 AC 피크 전압은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & (\sqrt{2} \times U_{vrms,1tap.op.} \times 1.1) \times 1.3pu \\ & = 52.77kV_{peak} \times 1.3pu = 68.601kV_{pk} \end{aligned}$$

밸브를 정방향을 시험할 시 가장 최악의 thyristor 교류전압 스트레스는 아래와 같다.

$$V_{thac} = K_{ac} \times 68.601kV_{pk} / 19 = 3.791kV$$

HVDC 밸브에서 정방향으로 thyristor의 가장 최악의 교류전압 스트레스는 선택된 thyristor의 repetitive voltage rating( $V_{DRM}$ )보다 작아야 한다. 선정된 thyristor의  $V_{DRM}$ 이 5.6kV이므로 이 조건을 충분히 만족시키고 있다.

##### 2.1.3 Thyristor voltage in the reverse direction

역방향에서 가장 최악의 thyristor 전압 스트레스는 최대 밸브 측 권선전압에서 alpha를 90°로 운전 시 나타나는 최대 밸브 전압으로부터 유도될 수 있다. 여기에서, 최대 밸브 권선 전압을 1.3pu로 가정할 수 있다. 또한 thyristor junction temperature( $T_j$ )를 90°C로 가정한다. 밸브에 나타나는 최대 전압은 오버슈트를 포함한 역회복 전압이 될 것이다.

최대 밸브측 권선전압은 68.601kVpk 이다. 밸브시험동안 밸브에 공급되는 역전압의 최고값은 아래와 같다.

$$68.601kV_{pk} \times 1.10 = 75.46kV_{pk}$$

여기에서, 1.10은 교류전압시험의 안전율이다.

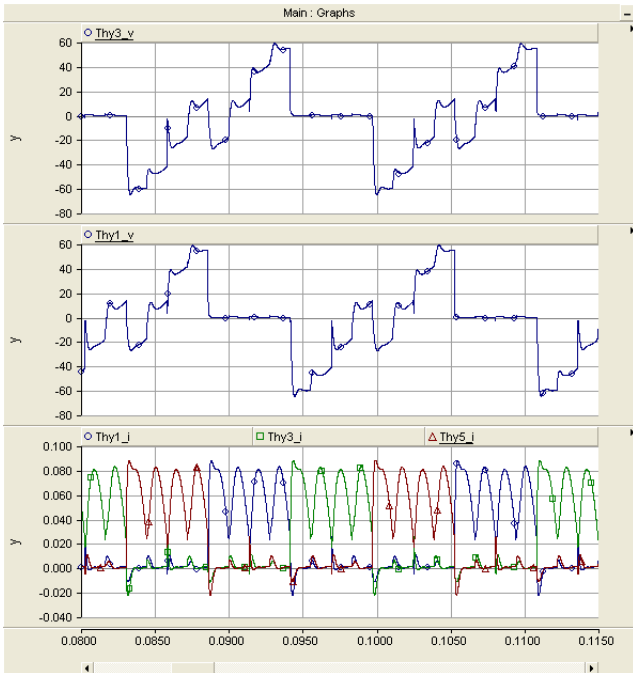
역방향으로 시험하는 동안의 가장 최악의 thyristor 전압스트레스는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} V_{thacR} & = K_{ac} \times 75.46kV_{pk} / 19 \\ & = 1.05 \times 75.46kV_{pk} / 19 = 4.17kV_{pk} \end{aligned}$$

밸브 동작 시 최악의 thyristor 전압 스트레스는 저장된 확산전하를 고려해서 계산이 된다.

$$\begin{aligned} V_{thacR} & = K_{ac} \times 68.601kV_{pk} / 20 + \Delta Q_{rr} \times K_{cd} / C_d \\ & = 1.05 \times 68.601kV_{pk} / 20 + 2600 \times 1.05 / (1.0\mu F \times 1000) \\ & = 3.6kV + 1.14kV = 4.74kV \end{aligned}$$

HVDC 밸브에서 역방향으로 thyristor의 가장 최악의 교류전압 스트레스는 선택된 thyristor의 repetitive voltage rating( $V_{RRM}$ )보다 작아야 한다. 선정된 thyristor의  $V_{RRM}$ 이 5.6kV이므로 이 조건을 충분히 만족시키고 있다.



〈그림 1〉 점호각 88° 와 1.253pu 과전압 조건에서의 밸브 전압

### 2.1.4 Thyristor switching impulse voltage stress

HVDC 밸브에 걸리는 SIWL(Switching Impulse Withstand Level)은 105.5kV이다. 스위칭 임펄스가 인가되는 조건하에서 밸브의 포화 리액터에 유도되는 전압은 무시를 한다. 또한 직렬로 연결된 thyristor가 모든 전압 스트레스를 받는다고 가정을 한다. 가장 약조건의 thyristor에 걸리는 최대 스위칭 임펄스 전압은 아래와 같다.

$$K_{sipl} \times 105.5kV / N_{levl} = 1.05 \times 105.5kV / 20 = 5.54kV$$

HVDC 밸브에서 thyristor의 가장 최악의 스위칭 임펄스 스트레스는 선택된 thyristor의 non-repetitive voltage rating( $V_{RSM}$ )보다 작아야 한다. 선정된 thyristor의  $V_{RSM}$ 이 6.5kV이므로 이 조건을 충분히 만족시키고 있다.

### 2.1.5 Thyristor lightning impulse voltage stress

섬광 임펄스 조건 하에서, 직렬로 연결된 thyristor에 나타나는 전압은 밸브의 포화 리액터로 인해서 인가된 전압보다 낮다. 인가된 섬광 임펄스 전압 113.35kV(LIWL)에 대해서, 직렬로 연결된 thyristor에 나타나는 전압은 90.5kV이다. 섬광 임펄스 전압의 분배 계수를 1.15로 가정하면, thyristor에 걸리는 가장 최악 조건의 섬광 전압 스트레스는 아래와 같다.

$$1.15 \times 90.5kV / 20 = 5.2kV$$

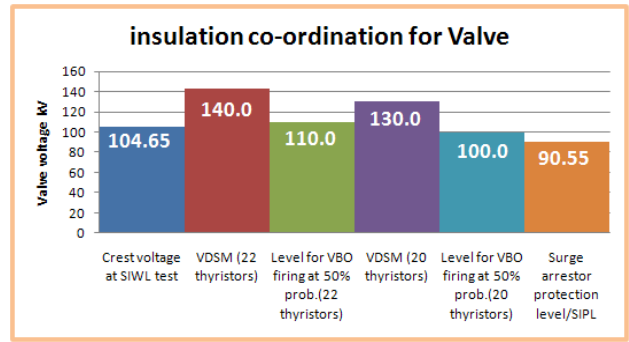
가장 최악의 thyristor 섬광 임펄스 전압 스트레스는 non-repetitive reverse breakdown voltage  $V_{br}=5.2kV$  보다 작아야 한다. 만일 이 스트레스 전압이 thyristor의  $V_{dsm}=6.5kV$ 보다 크다면 VBO가 thyristor를 점호시킬 것이다.

### 2.2 VBO Protection

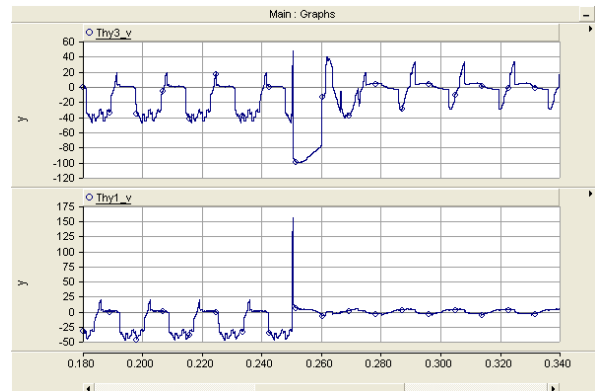
VBO 보호 레벨은 스위칭 임펄스 전압이 정방향으로 인가되었을 때 밸브를 점호하기 위해서 설계가 된다. 이와 같은 설계는 밸브 어레스터가 컨버터 내의 절연과피 또는 섬광 임펄스보다 다른 요인으로 인해 발생하는 역방향 과전압을 보호할 수 있도록 한다.

Thyristor의 peak non-repetitive off-state voltage는 6.5kV이다. VBO의 측정 허용 오차를 +0.15kV, -0.15kV라고 한다면 thyristor 당 정상적인 보호레벨은 5.0kV이다.

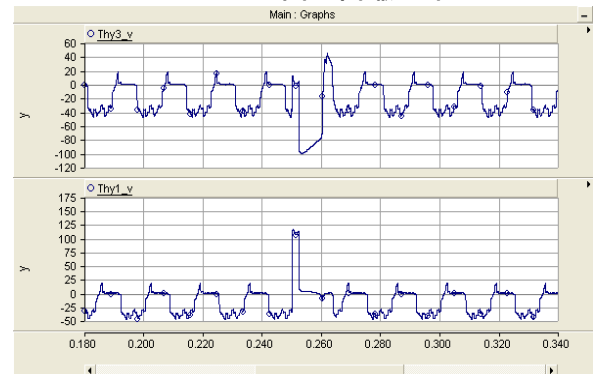
그림 3는 밸브의 절연설계를 보여주고 있고, 밸브와 어레스터간의 충분한 안전 여유가 있도록 설계되었다는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 Valve 절연설계



(a) Valve 어레스터가 없을 시



(b) Valve 어레스터가 연결 시

〈그림 3〉 Valve 절연보호레벨에 의한 어레스터 동작

### 3. 결 론

Valve 설계 시 교류 및 직류시스템에서 발생할 수 있는 외란을 고려해서 valve의 절연 및 보호레벨을 선정하는 매우 중요하다. 따라서 설계된 valve를 외란 조건으로 시험하기 전에 외란에 의한 전압스트레스를 계산하고 이를 사전에 검증함으로써 valve의 성능을 확인하는 방법을 본 논문에서 기술하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] H.Gibson, J.P.Ballad, J.K.Chester, "Characterisation, Evaluation and Modeling of Thyristors for HVDC Converter Valves", IEEE Int. Conf. Proc. 255, pp.320~324, 1985.
- [2] H.Gibson, J.P.Ballad,"Forward Recovery Damage in High Power Semiconductors", IEE Prof. Group Meeting, 'Power Semiconductors', May 1984.
- [3] M.L.Woodhouse, "Voltage and Current Stresses on HVDC Valves", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.PWRD-2, No.1, January 1987.
- [4] IEC 60700-1, Thyristor Valves for High Voltage Direct Current (HVDC) Power Transmission.