

ETC 용 300kJ 펄스 전원 적용을 위한 RVU-43 스위치의 특성평가

이홍식, 진윤식, 김종수, 황동원, 조주현, 임근희, 김진성*, 추중호*, 정재원*
 한국전기연구소, * 국방과학연구소

Evaluation of a RVU-43 Switch of a 300kJ Pulse Power System for the ETC Applications

Hong-Sik Lee, Yun-Sik Jin, Jong-Soo Kim, Dong-Won Hwang, Chu-Hyun Cho, Geun-Hie Rim
 Jin-Sung Kim*, Jeung-Ho Chu*, Jae-Won Jung*
 KERI, * ADD

우리나라의 전열추진기술 프로그램에 따라 8 셀의 □ □kV 커패시터 뱅크 모듈이 제작되고 있다. 한 셀의 모듈은 6 개의 22kV,50kJ 자체 고장복구 커패시터와 주 스위치로서 각 모듈에 하나씩의 RVU-43 스위치를 사용하였다. 또 각 모듈에는 요구되는 전류 파형의 폭을 얻기 위하여 20~160 μH의 펄스 파워 인덕터를 사용하였고 3 개의 병렬 크로우바 스택을 적용하였다. 여러 종류의 스위치가 검토되었으며 그 중에서 펄스 파워 싸이리스터보다 가격이 싸면서 전류영역에서 차단기능이 있는 RVU-43 스위치가 선정되었다. 선정된 스위치(정격 25kV, 200kA,120 Coulomb)에 대하여 자기방전 전압, 최소 동작전압, 동작 지연시간, 역전류 차단 성능, 스위치 손실에 관한 특성시험을 행하고 그 결과를 보고한다.

1. 서론

우리나라의 전열추진 기술 연구 프로그램에 따라 8 모듈의 300kJ 커패시터 뱅크 펄스전원(총 2.4 MJ)이 제작되고 있다.[1] 각 모듈은 최대 180kA(0.5 ms)의 전류 펄스를 발생할 수 있으며 부하에 다양한 파형의 전류를 공급할 수 있도록 순차 트리거 방식으로 운용할 수 있도록 제작하고 있다. 300 kJ 모듈의 스위치로서 여러 가지가 검토되었으나 최종적으로 가격과 성능을 토대로 트리거 진공 스위치(TVS ; 러시아제 RVU-43)를 선택하게 되었다. TVS 는 진공튜브 스위치와 달리 예열이 필요 없고 또 스파크 갭 종류와 달리 사용 전압 전역에 걸쳐 전극간격을 조정할 필요도 없으며 충격소음이 작고 이그니트론처럼 취부방향에 구애 받지 않는다.[2-9] 다음은 제작사인 VEI 의 제시 사양이다.

- 동작전압 : 0.5-25 [kV]
- 동작전류: 10-200 [kA]
- 최대 전달 전하량/shot: 120 C
- 소요 트리거 전압, 전류, 펄스 폭 : 5kV,400A, 5 μs
- 동작 지연시간: 2 μs 이하

2. 실험장치

RVU-43 스위치를 적용한 300kJ 모듈 시제품을 제작하였다. 이 모듈은 커패시터 충전기와 50kJ 짜리 커패시터(22kV, 206 uF) 6 개, 에너지 덤프회로, 크로우바 회로(22kV,180kA, 0.5ms), 펄스 성형 인덕터(20 uH), 무유도 모의부하 저항(12.5 mOhm)으로 구성되어 있으며

그림 1 에 그 구성을 나타내었다.

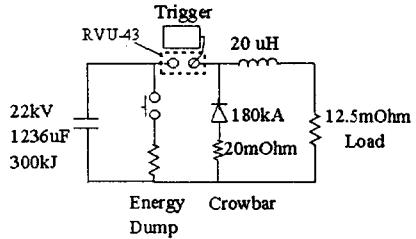


그림 1. TVS 스위치를 장착한 300kJ 펄스 파워 모듈 실험장치

스위치 실험장치는 스위치 내부에 발생하는 통전용 진공 플라즈마가 외부 자계에 의하여 교란되지 않도록 구리로 만든 원통구조 안에 넣어 동축구조로 제작하였다. 트리거 발생기는 그림 2 에서 보는 바와 같이 커패시터와 SCR, 절연 계급 30kV 의 절연 펄스 트랜스로 구성되어 고전압이 제어회로로 침입하지 못하도록 하였고 출력은 5 kV 이다. SCR 의 트리거 신호는 전자계 노이즈가 심한 환경임을 고려하여 원격에서 광 케이블로 전송되어 온 광신호가 전기신호로 바뀌어 트리거 하도록 제작하였다. TVS 전류는 고주파 CT 로 측정하였다.

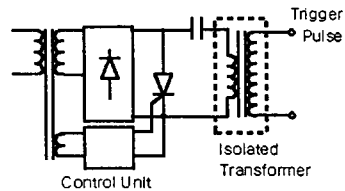


그림 2. TVS-43 용 트리거 발생장치.
 입력:220VAC, 출력 : 5kV, 450A

스위치 전압은 양극과 음극의 전압을 각각 고전압 프로우브로 측정하여 오실로스코프 상에서 차이를 구함으로써 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 자기방전 전압

14 개의 RVU-43 스위치의 자기방전 전압을 측

정하였다. 원통형 설드를 제거하고 그림 3 과 같이 시험회로를 구성하였다. 음극을 트리거 핀과 단락시키고 양극에 교류 고전압을 0에서부터 50kV까지 점차 높여 인가하였다. 스위치 내부방전의 발생은 스파크 핀 P의 방전으로 확인된다. 14%의 스위치에서 정격전압(25kV)보다 낮은 전압에서 방전이 일어났으나 계속 전압을 높여가면 두 번째 방전은 모두다 40kV 이상에서 발생하는 것으로 미루어 TVS에서는 전극의 컨디션이 대단히 중요함을 알 수 있다.

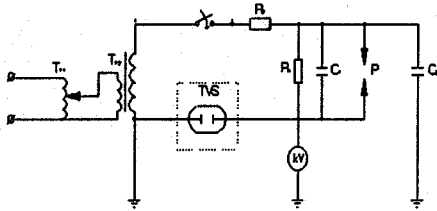


그림 3. 스위치의 자기방전 전압 시험장치

3.2 최소동작전압

충전된 커패시터를 트리거할 수 있는 최저전압을 측정할 바 120V에서 동작함을 확인하였다.

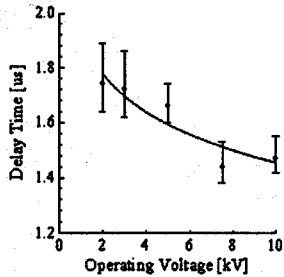


그림 4. 트리거 신호로부터의 동작지연 시간

3.3 동작지연 시간

트리거 신호에 대한 동작 시간지연은 그림 4와 같고 모두 2us 이하였으며 전압증가에 따라 감소하였다.

3.4 역전류 차단

TVS는 어느 정도의 운용범위 내에서 역전류 차단기능을 나타낸다. 이 기능은 순차 트리거 방식 모듈화 전류 펄스 성형에서 대단히 중요한 기능이다. 그림 1에 보인 크로우바 회로가 있을 때와 없을 때 스위치의 역전류 차단 성능을 각각 비교하였다. 크로우바가 있을 때 스위치는 크로우바 동작 후 커패시터에 남아

있는 전하만 통전해 주면 되므로 스위치 부담이 줄어들게 된다.

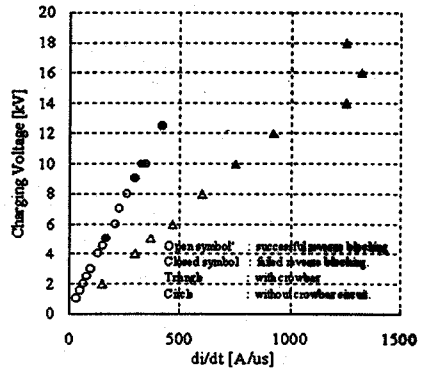


그림 5. 전류영점에서의 역전류 차단 성능

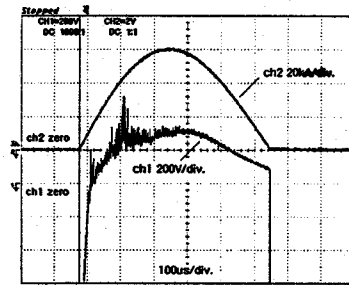


그림 6. 크로우바 회로 제거시의 스위치 전압 전류 파형 (10kV, 60 kA). 스위치 전압은 약 300V

크로우바 유무에 따라 스위치 역전류 차단 성능이 달라짐을 확인하였다. 시험 내역을 그림 5에 표시하였고 여기서 di/dt는 첫번째 전류영점 부근 전류 하강을 나타낸다.

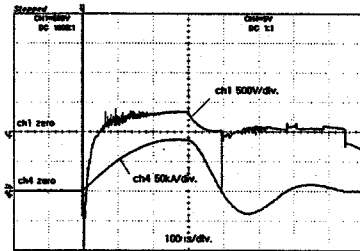


그림 7. 크로우바 회로 부착시의 스위치 전압 전류 파형(14kV, 85 kA). 스위치 전압은 약 300V

시험한 TVS는 di/dt = 600 A/us, 전류 피크 49kA(8kV 충전)까지 역전류를 차단하였다.

3.5 스위치 손실

크로우바 유무에 따른 전형적 전압, 전류 파형을 그림 6,7에 각각 나타내었고 그림 8,9에는 각 경우 스위치 저항의 동특성을 그림 10,11에는 에너지 손실을 나타내었다. 전류 피크에서의 스위치 전압은 전류증가에 따라 약간 증가하였고 150-500V 범위였다. 에너지 손실은 크로우바 유무에 따라 각각 4~8%, 8~12% 였다.

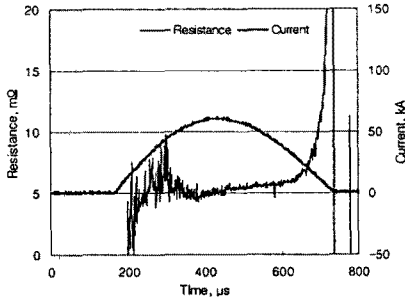


그림 8. 크로우바 제거시의 스위치 저항 동특성

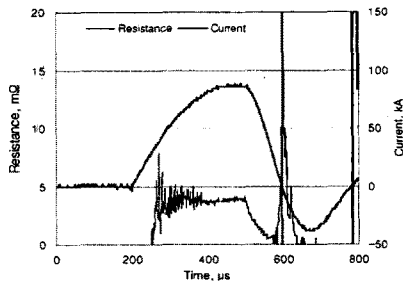


그림 9. 크로우바 부착시의 스위치 저항 동특성

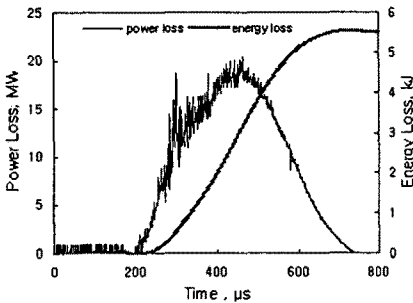


그림 10. 크로우바 제거시의 전력 및 에너지 손실 특성(10 kV 충전)

4. 결론

RVU-43 스위치에 대한 여러 가지 특성시험을 행하였다. 특히 역전류 차단기능은 49KA, 600A/us 까지 발휘되었다. 300KJ 펄스 파워 스위치로 선정된 RVU-43 스위치는 많은 엄한 시험환경 속에서 신뢰성 있게 잘 동작하였으며 음향소음이 매우 작은 편이어서 경제적이며 신뢰성 있는 스위치로 평가된다.

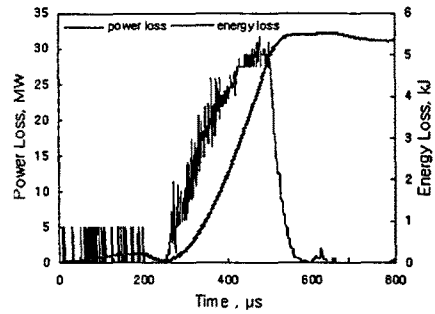


그림 11. 크로우바 부착시의 전력 및 에너지 손실 특성(14 kV 충전)

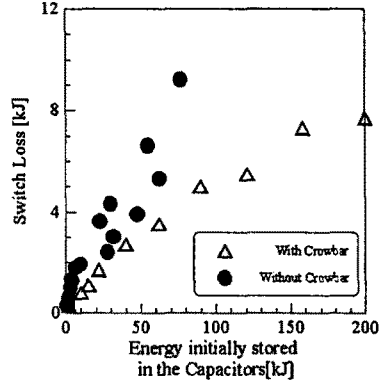


그림 12. RVU-43 스위치의 에너지 손실

[참고문헌]

- [1] J.W. Jung, J. S. Kim, K. H. Chung, H. Yun, "Overview of ETC Program in Korea", *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 35, 1998, pp 23-24
- [2] D. F. Alferov, V. P. Ivanov, A. A. Sidorov, "High Current Vacuum Switching Devices for Power Energy Storages", *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 35(1), Jan 1999, pp 323-327
- [3] L. Thurmond, T. Howard, T. Pfenning, "Evaluation of a Triggered Vacuum Switch for ETC Applications", *10th Pulsed Power Conference*, 1995, Vol 1, pp 769-774
- [4] H. Junjia, Z. Jiyan, Q. Shihong, W. Hai, "A High Capacity Triggered Vacuum Switch with Single Axial Magnetic Field Electrode", *IEEE Trans. Magnetics*, Vol 35(1), Jan 1999, pp 352-355
- [5] S. E. Sampayan, S. H. Gurbaxani, M. T. Buttram, "Recovery Properties of Vacuum Spark Gaps", *IEEE Trans. Plasma Science*, Vol. 17(6), Dec 1989, pp 889-897
- [6] J. A. Pappas, S. P. Pish, M. J. Salinas, "Characterization of Triggered Vacuum Switches for High Current Operation", *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 35(1), Jan 1999, pp 367-371
- [7] R. Dethlefsen, V. A. Sidorov, V. A. Vozdvijenskii, "Triggered Vacuum Switch Testing for Millisec Pulses", *8th IEEE Pulsed Power Conference*, 1991, pp 511-514
- [8] H. Samaulah, K. Itagaki, A. Sugawara, et al, "Switching Characteristics of Two Parallel-Connected Triggered Vacuum Gaps", *Trans. IEE-Japan*, Vol. 117-B(3), 1997, pp 346-353
- [9] B. M. Coker, R. S. Keyse, "A miniature Triggered Vacuum Gap Switch for High Energy-density Pulsed Switching Applications", *IEE Colloquium on Pulsed Power*, 1996, pp 3/1-3/3