

**메탈 필름 저항의 펄스 대전력 시험**

손윤규, 장성덕, 권세진, 오종석, 조무현, 이경태  
포항가속기 연구소, 포항공과대학교, 엠엔 케이

**Pulse energy high power test of metal film resistor**

Y.G. Son, S.D Jang, S.J. Kwon, J.S. Oh, M.H. Cho, K.T. Lee  
POSTECH/PAL, M&K

Abstract - Metal film type of resistor have been tested to invest maximum usable power at the pulsed high voltage and pulsed high current. Experiments were carried out using capacitor charging power supply and dump switch. Pulsed amplitude were varied from 1 kV to 25 kV. The peak current reached was 1 kA. Datasheet are given for the limited pulsed power and energy for metal film type of resistor in nanosecond and microsecond time range. The experimental investigation of the threshold loading of the resistor in the high current and voltage pulsed mode has shown that the process of destruction of resistor has specific features for each mode. The mechanisms of failure and destruction of resistors under action of high-voltage and high-current pulses are discussed.

**1. 서 론**

전원장치나 각종 전자기기를 구성하는 구성품 중에 저항기는 가장 많이 쓰는 부품 중의 하나이다. 전자기기들은 기술이 발전함에 따라 점차로 정밀화, 소형화되어감에 따라 여러 가지의 재료를 이용한 메탈포일(metal-foil)저항기와 같은 초정밀 소형저항들이 출시되고 있다. 전력회로에서 저항의 궁극적인 목적은 전력을 소비하여 발열하는데 있다. 그러나 주위온도가 높아지면 소손이 되어 버리기 때문에 저항기의 구조에 따른 부하가 없는 상태에서 최고사용온도가 규정되어있다. 정격부하를 가하는 경우 연속적으로 사용할 수 있는 주위온도의 최고치로서 정격온도가 규정되어있다. 이온도를 넘어서 사용하는 경우에는 부하를 감소시켜 자기발열을 억제하지 않으면 주위온도와 자기발열로 인해 최고사용온도를 넘어버리게 된다. 따라서 사용전압에 의한 제한이나 수명, 온도특성, 그리고 주변부품이 미치는 영향을 고려하여 부하량을 경감하게 되고 통상적으로는 사용전력의 1/4내지 1/2이하에서 사용하게 된다.<sup>[1]</sup> 전력용 저항기를 단시간 펄스 부하 조건에 대해서 어느 특정 저항값을 가지는 저항에 인가할 수 있는 에너지를 결정할 필요가 있다. 저항이 가지는 펄스에너지에 대한 에너지 능력을 실험을 통해서 그 결과를 보이고자 한다.

**2. 실 험**

**2.1 실험회로구성**

전력회로에서 저항치가 결정되면 유입되는 전류에서 전력을 계산하고 부품을 선정하게 된다. 특히 저항의 선정에 있어서 필요한 부분을 살펴보면 정격전압, 최고 사용전압과 최고 과부하 전압(단시간 과부하), 단속 과부하 전압, 정격 펄스 전압 등을 고려하여야 한다. 고전압 인버터 전원을 실험하기 위한 소형 모듈레이터의 더미부하로 메탈 필름저항을 사용하였다. 그림 1은 펄스회로에 사용하는 부하저항의 펄스에너지를 구하기 위한 실험회로이다. 시험용 전원으로서는 콘덴서 충전용 전원장치인 인버터전원을 사용하였다. 출력전압은 50 kV, 용량은 15 kJ/sec이고 평균출력전류는 0.6 A이다. 부하인 저항과 병렬로 10 nF의 콘덴서를 2개 병렬로 연결하고 전원장치와 콘덴서간의 직. 병렬로 저항과 다이오드가 연결되어있다. 이 저항과 다이오는 부하의 방전으로부터 전원장치를 보호하는 역할을 한다. 콘덴서와 직렬로 펄스를 만드는 방전회로인 덤프스위치를 직렬로 연결하고 시험저항을 접지 측에 연결하였다. 저항양단의 전압을 측정하기위해 인가전압을 모니터링 하고자 고전압 프로브(PVM-5, North\_star사)를 스위치 전단에 접속하였고, 전류센서(110, pearson사)는 저항의 접지측에 설치하였다.

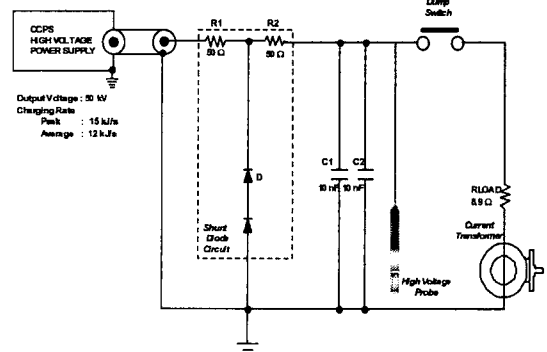


그림 1 저항에 펄스전압을 인가하는 시험전기회로

**2.1.1 대전류 펄스시험**

부하로 전달되는 단시간 대전류 펄스전력 시험을 위해 그림 1의 회로에서 에너지 저장용 콘덴서(C<sub>1</sub>,C<sub>2</sub>)에 전압을 충전하고 스위치를 닫아 저항에서 전력소모가 일어나도록 하면 R과 C가 존재하는 직렬회로로 된다. 회로를 분석해보면 선로의 L값을 고려해야 함으로 실제로는 R-L-C직렬회로가 된다.

회로에서 저항값과 인덕턴스와 콘덴서값에 의한 임피던스 값이 같게 되면 저항에서 전력손실이 최대가 된다. 인덕턴스와 콘덴서로부터 임피던스와 저항과의 관계는 식(1)~(3)과 같다.<sup>[2]</sup>

$$\left(\frac{4L}{C}\right) = R^2 \quad (1)$$

$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} [\Omega] \quad (2)$$

$$Q = \left[\frac{1}{2\sqrt{\frac{L}{C}}}\right] \times \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

여기서 L은 선로의 인덕턴스 값이며, C는 에너지 저장용 콘덴서의 커패시턴스이며 R은 부하저항 값이다. Q는 공진 선택도를 나타낸 것이다.

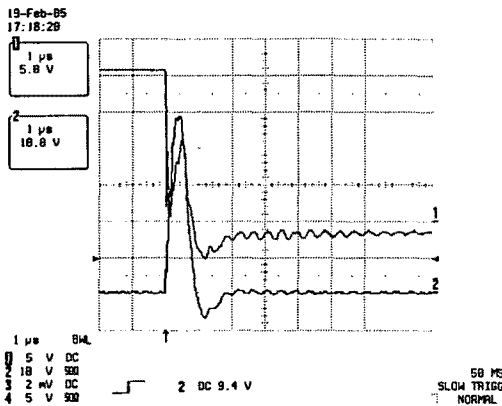


그림 2 저항양단의 전압과 전류파형  
CH1: 전압 5 kV/DIV, CH2: 전류 200 A/DIV

충전전류는 인버터 전원의 출력전류 값과 보호저항의 값에 의해 전류제한을 받는다. 방전전류는 콘덴서에 충전된 전압을 스위치를 닫아 저항으로 방전시킨다. 방전전류는 충전전류의 수십에서 수백 배에 이르게 된다. 그림 2는 방전시의 저항양단에 흐르는 전류와 전압파형을 나타내고 있다.

## 2.2 메탈 필름저항

메탈 필름저항은 국내에서 생산되는 3RLab사의 저항으로 실험하였다. 이 저항의 실험은 펄스폭을 1 μs로 고정하고 저항에 인가되는 전압의 크기를 변화시키면서 저항양단의 전압과 전류를 측정하였다.

표 1. 8.9 Ω 필름저항의 펄스폭 1 μs시 파워특성

Voltage [kV]	Current [A]	Power [kW]	Energy [J]	Action Integral [A <sup>2</sup> .s]	Resistor [Ω]
2	98.2	196.4	0.2	0.00964	8.5
3	152	456	0.46	0.02310	8.5
4	200	800	0.8	0.04000	8.5
5	260	1,300	1.3	0.06760	8.5
10	500	5,000	5.0	0.25000	8.5
16	820	13,120	13.12	0.67240	9
21	960	20,160	20.16	0.92160	700

실험의 결과로 얻은 값은 표 1에 나타내었으며, 실험 직후의 저항 값을 측정하였다.<sup>[3][4]</sup> 실험에 사용된 메탈 필름저항은 8.9 [Ω]에서 허용오차 ±5 %, 정격용량 10 [W]이다.



그림 3 시험용 저항(8.9 Ω 12 W)  
그림 3은 시험용으로 사용된 메탈필름저항의 외형이다. 실험에서 이 저항은 16 kV전압까지는 저항 값을 유지하였으며 21 kV인가 시에는 단자 끝부분에 가까운 쪽에서 국부적인 섭락이 발생되어 소손되었다. 펄스가 유지하는 동안 저항에서 소비된 전력은 13 MW로 계산되었다. 참고로 이 저항의 정격용량은 10 W이다.

## 2.2.1 실험 회로 전산모사

메탈 필름 저항의 펄스특성시험에서 시험회로의 선로 인덕턴스 값과 방전시의 방전스위치의 방전시의 코로나 저항과 변수들에 대한 분석을 위해 실측된 파형을 기준으로 전산모사를 실시하였다. 그림 3은 전산모사시의 등가회로를 나타낸다.

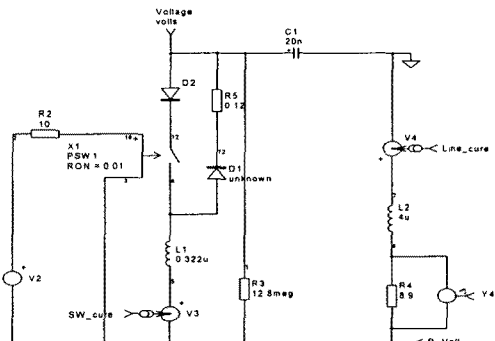


그림 3 저항의 펄스시험 등가회로도

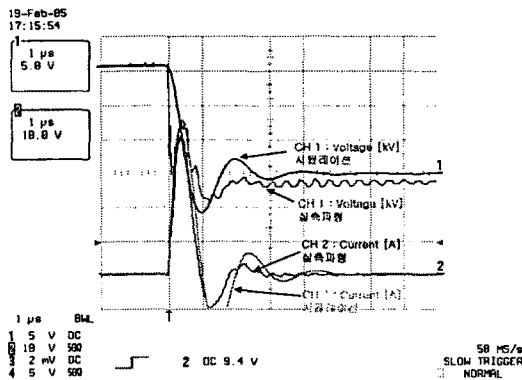


그림 5 실측파형과 전산모사파형비교(전압, 전류)

실험회로의 전산모사에서 선로 인덕턴스 값은 4 [μH]근처의 값으로 확인되었다. 그림 4는 측정파형과 전산모사 시의 전압, 전류파형을 나타낸 것으로 일치하는 것을 보여주고 있다.

### 2.2.1 실험 평가

펄스부하로 사용가능한 저항으로는 3가지 종류의 저항으로 생각할 수 있다. 카본 콤포지션저항, 카본필름저항, 메탈필름저항으로 구분할 수 있다. 대개의 경우 펄스파워 회로에서는 카본 콤포지션 저항을 사용하고 있다. 새로운 재료의 개발과 기술의 발달로 현재는 메탈필름저항이 카본 콤포지션 저항이나 카본필름보다 전력용량이 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>[3]</sup> 카본 콤포지션저항의 경우는 단자 부분과 접속금구에서 가까운 쪽에서 대부분의 소손이 일어나는 것으로 조사되었다. 메탈필름저항의 경우도 카본 콤포지션 저항과 같은 현상이 생기는 것으로 확인되었다. 메탈필름이나 카본필름 저항의 경우 둥근 세라믹 봉위에 필름의 저항체를 부착하고 양쪽에 저항 리드선이 인출되어 있는 구조이다. 리드선과 저항을 연결하는 방법으로는 300℃ 이상의 고온에서 리드선을 접합하는 방법이 사용되고 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 라라 전자공업사, "저항기의 기초", 1999
- [2] Santokh S. Basi, "Semiconductor pulse and switching circuits", 1980
- [3] Sergey I. Shkuratov, Magne Kristiansen, James C. Dickens, Lynn L. Hatfield, E. Horricks, "High-current and high-voltage pulsed testing of resistors", IEEE Transactions on plasma science, Vol. 28, No.5, 1607-1614, 2000
- [4] Sergey I. Shkuratov, Magne Kristiansen, James C. Dickens, Lynn L. Hatfield, E. Horricks, "Pulsed, high energy testing of resistors", IEEE, 712-715, 1999

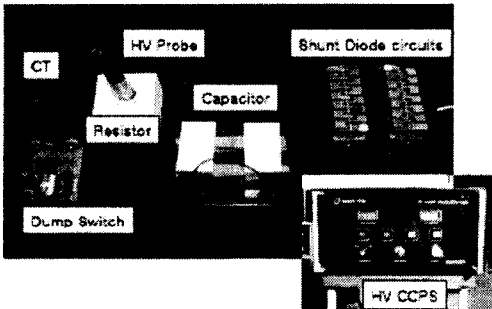


그림 6 실험회로도 사진

이와 같이 저항과 리드선의 접합부분은 접합상태는 외관상으로 보아 부착된 것으로 보이지만, 실제로는 정교하게 부착된 것이 아니며 고전압의 대전류가 저항의 리드선과 저항접속 부분에서 미세한 아크를 발생하는 것으로 추정되며 서서히 전압을 상승시키면 섬락이 발생하게 되어 저항을 소손시키는 결과를 초래하게 된다. 그림 6은 실험을 위해 연결된 각각의 회로에 대한 사진을 보여주고 있다.

### 3. 결 론

국내에서 제작되는 메탈저항은 단시간 펄스정격에도 사용이 가능하고 순간파워에도 큰 전력을 감당하는 것으로 실험결과 확인되었다. 저항에서 소비되는 전력은 펄스부하나 단시간 정격에 있어서 정격전력의 수십에서 수백 배에 달하는 것으로 확인되었다. 저항과 리드선을 접속하는 부분의 접합상태의 양. 부에 따라 접속단자 가까운 쪽에서 소손되는 현상은 개선해야 할 문제로 남아있다. 단시간 지속시간을 가지는 펄스에 대해서 메탈저항기의 과부하 정격전압은 정립되어있지 않으며 저항이 가지는 에너지를 초과하지 않은 범위에서 기중에서 대략 2 kV/Cm 정도로 예상된다.

본 연구의 실험지원에 협조해주신 3RLab  
사에 감사드립니다.