

## 전력전자용 건식 금속 증착 필름 커패시터 설계 및 제작

윤중락\*, 김영광\*  
삼화콘덴서공업(주) \*

### Design and Fabrication of Metalized Film Capacitor for Power Electronics

Jung-Rag Yoon\*, Young-Kwang Kim\*  
SAMWHA CAPACITOR Co. Ltd\*

#### Abstract

본 논문에서는 지하철 인버터 회로에 사용 환경에 적합하면서 높은 과도 전압(dV/dt)에 견딜 수 있는 건식형 스너버용 커패시터를 설계 및 제작하여 특성을 검토하고자 한다. 필름 커패시터는 환경적 측면을 고려하여 에폭시 몰드형 건식형을 적용하였다. 증착 필름에 적용되는 금속은 Zn 전극에 비하여 Al 전극이 우수한 커패시터 특성을 나타내었으며 패턴의 경우에도 T-pattern에서 정전용량 및 손실의 변화율이 작게 나타났다. Al 금속전극에 wave-cut를 적용한 T-pattern 필름으로 DC 1650V, 12 uF, 정격전류 40 A의 커패시터를 제작하여 ESR 및 유전 손실이 적은 제품을 구현할 수 있으며 내구성 및 surge test 결과 신뢰성 규격을 만족하였다.

교류 300 V 미만과 DC용으로 적용되는 것으로 알려져 있다. 본 실험 결과에서도 DC인가에 따른 정전용량 및 유전 손실의 변화는 Al 전극 적용시 Zn 전극에 비하여 우수한 특성을 보여주고 있다. 패턴 형상에 따른 실험 결과 T-pattern이 동일한 Al 전극에서 우수한 커패시터 특성을 보여주고 있으며 이와 같은 결과는 기존의 연구 결과에서와 같이 전극이 분할되어 지정된 경로로 통해서만 전류가 흐르고 절연과피에 의한 자기회복 현상이 특정 분할된 전극으로 큰 전류가 흘러 T 형태의 pattern를 단선시켜 절연과피 지점을 국부적으로 제거함으로써 나타난 결과이다. 그림 3은 충,방전에 따른 정전용량의 변화를 나타낸 그림으로서 일반적으로 초기 정전용량의 5%이상 감소한 경우를 수명이 다한 것으로 판단한다. 실험결과를 보면 그림 2의 특성 결과와 동일한 경향을 보이며 Al 전극을 증착한 pattern 필름이 안정된 특성을 보여 줌을 확인할 수 있다.

#### 1. 서 론

산업용 인버터, 하이브리드 및 전기 자동차, 전철의 전력전자 인버터용 커패시터의 중요성이 증가되고 있다. 전력전자 회로에서 금속 증착 필름 커패시터의 주요 용도로는 우수한 리플 전류 특성이 필요한 스너버 회로 및 DC-link 용으로 사용되고 있으며 필요 특성으로는 높은 신뢰성을 가지면서 소형, 환경친화성을 요구하고 있다.[1] 일반적으로 커패시터 제작에 적용되는 유전체로는 폴리프로필렌(PP) 필름, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 크라프트지 등이 있으며 재료의 장,단점을 이용하여 용도에 따라 단독 또는 조합하여 사용한다.[1,2] 전극 구조는 박막 전극형과 금속 증착형으로 구분할 수 있으며 전력전자용의 경우 소형화 및 고용량화를 위하여 유전체 표면에 Al, Zn 또는 이들 합금을 200 ~ 300 A의 두께로 증착시킨 자기회복(self-healing)용 금속 증착형 전극을 많이 적용하고 있다. 금속 증착형 전극 커패시터의 장점으로서는 전극 무게 및 부피 감소로 인하여 소형화가 가능하며 자기회복 현상으로 고신뢰성을 얻을 수 있다. 커패시터 설계에 있어 고려되어야 할 사항으로는 정전용량, 허용 과부하 및 정격 사용 조건하에서의 전기적, 열적, 기계적 특성을 만족하면서 고주파용의 경우 등가직렬저항(Equivalent Series Resistance) 및 등가직렬인덕턴스(Equivalent Series Inductance)가 작아야 한다. 최근에는 친환경 및 유지 보수를 고려하여 절연유를 포함하지 않는 건식형 필름 커패시터의 개발이 가속화 되고 있다. 본 논문에서는 철도용 인버터 회로에서 철도 차량용 사용환경에 적합하면서 높은 과도 전압(dV/dt)에 견딜 수 있는 건식형 스너버용 커패시터를 설계 및 제작하여 특성을 검토하고자 한다.

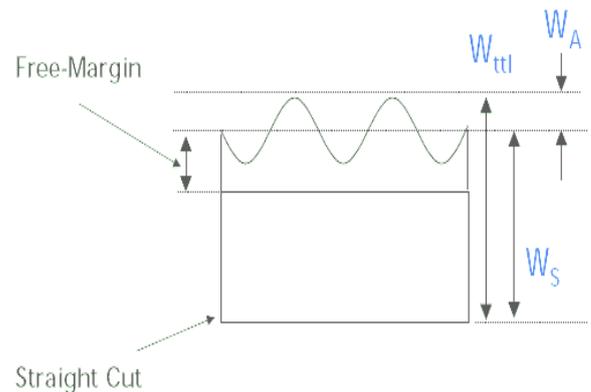


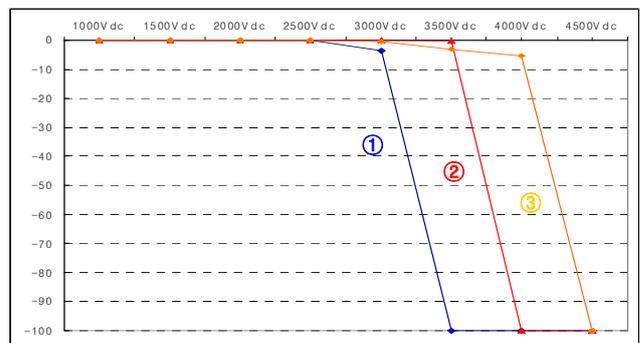
그림 1. Wave-cut film 형상 및 상세도

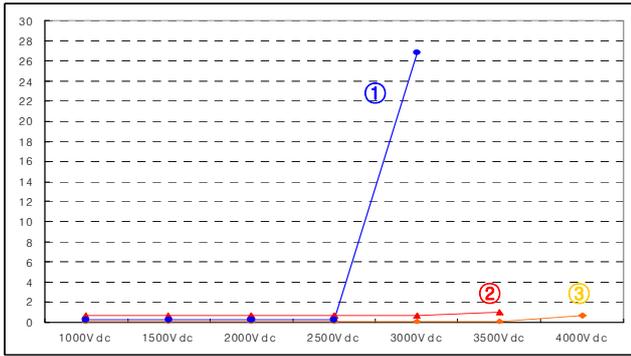
#### 2. 실험 및 제작

본 실험에서 적용된 필름은 SteinerFilm(사)의 wave-cut film과 기존 plan type의 폴리프로필렌 필름을 적용하였으며 그림 1에 wave-cut film의 형상을 나타내었다. wave-cut film의 wave amplitude  $W_A$ 를 0.3 mm로 하고 wave length  $W_{ttl}$ 은 2.5 mm로 설계 하였으며 기존 plan type 필름(두께 5  $\mu$ m, 저항 : 6 ~ 9  $\Omega/cm^2$ )에 Zn, Al 및 Al-T pattern을 적용하여 전극 종류에 따른 용량 및 유전손실 변화율을 검토하였다. 최종 제품으로는 그림 1의 wave-cut film을 적용하여 정격전압 DC 1650V, 12 uF, 정격전류 40 A의 규격을 가지는 스너버용 커패시터를 제작하여 주파수에 따른 ESR 및 유전 손실을 측정하였으며 신뢰성 측면에서 내구성 및 surge test를 하였다.

#### 3. 실험 결과

그림 2는 증착 금속 및 pattern에 따른 커패시터를 제작한 후 DC 전압을 인가하여 용량 및 유전 손실 변화를 나타내었다. 금속 증착형 전극에서 일반적으로 교류 300 V 이상에는 Zn 전극을 사용하고 Al 전극은





① Zn 증착품 ② Al 증착품 ③ Al-T pattern 증착품

그림 2. 증착 금속 및 서로 다른 pattern의 DC 전압 인가에 따른 용량 및 손실 변화를 (a) 정전용량 변화를 (b) 유전손실변화를

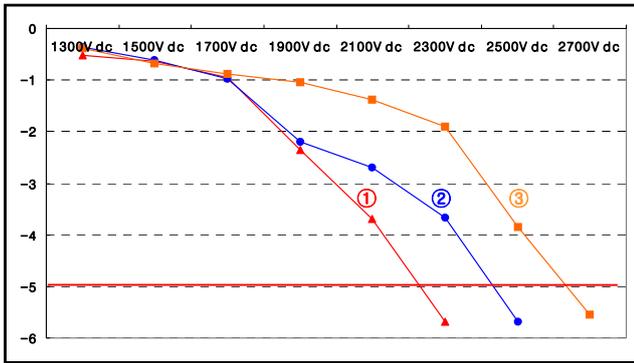


그림 3. 증착 금속 및 서로 다른 pattern의 총,방전에 따른 용량 변화를

그림 4는 그림 1과 같은 형상은 wave-cut을 적용한 T-pattern에 Al 전극을 증착한 고내열성 필름을 적용하여 DC 1650V, 12 uF, 정격전류 40 A의 커패시터를 제작한 후 ESR 및 유전손실을 측정된 결과이다. ESR의 경우 1 kHz에서 wave-cut 필름을 적용한 경우 50 mΩ의 값을 보이는 데 비하여 일반 필름의 경우 80 mΩ으로 큰 값을 보이고 있다. 주파수 증가에 따른 유전손실의 경우에서도 10 KHz 이상부터는 wave-cut 필름에서 우수한 유전손실 특성을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 이와같은 결과는 필름을 권취 후 metal spary를 이용하여 외부 전극 형성시 내부전극과 외부 전극간의 비표면적이 증가하여 도체의 접촉 저항이 감소하여 나타난 결과로 판단된다. 일반적으로 유전손실은 식(1)로 구성되며 wave-cut 필름이 적용시 그림 5의 커패시터 등가회로에서 등가직렬저항  $R_s$ 에 의한  $\tan \delta_s$ 의 감소 효과로 주파수에 따른 손실이 작게 나타난다.

$$\tan \delta = \tan \delta_p + \tan \delta_s + \tan \delta_d \quad (\text{식 1})$$

$$\tan \delta_p = 1/2\pi f C R_p, \quad \tan \delta_s = 2\pi f C R_s, \quad \tan \delta_d : \text{유전재료 손실}$$

그림 6에 wave-cut 필름을 제공한 SteinerFilm(사)의 연구결과인 미세 구조를 통해 확인 할 수 있었으며 내구성 및 surge test 결과 신뢰성 규격을 만족하였다.

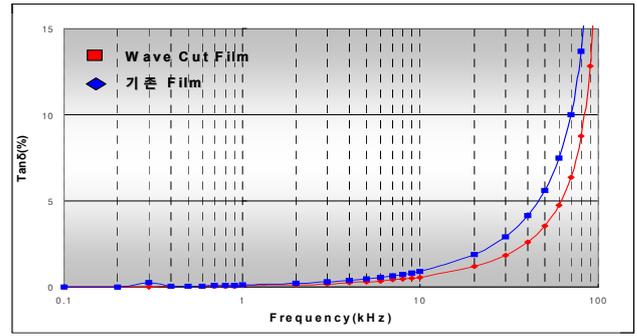
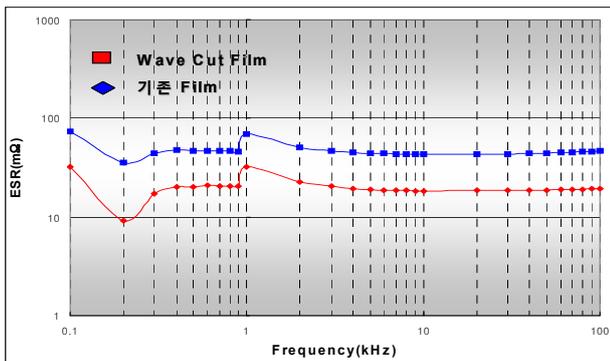
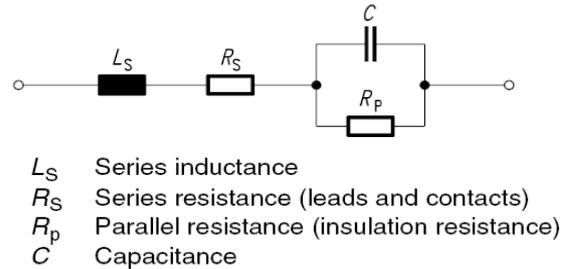


그림 4. wave-cut 필름을 적용한 커패시터 ESR 및 유전손실



- $L_s$  Series inductance
- $R_s$  Series resistance (leads and contacts)
- $R_p$  Parallel resistance (insulation resistance)
- $C$  Capacitance

그림 5. 필름 커패시터 등가회로

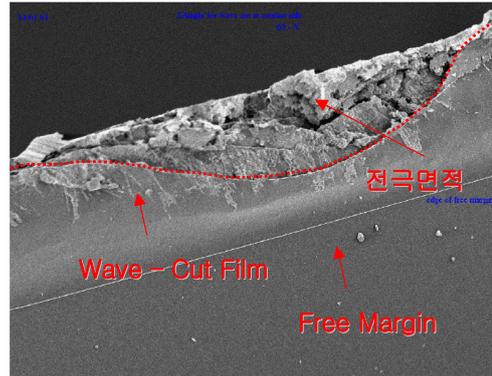


그림 6.. wave-cut 필름을 적용한 커패시터의 내부전극과 외부전극 단면도 (SteinerFilm(사) 자료)

### 3. 결 론

전력전자용 캐패시터 제작을 위한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 증착 필름에 적용되는 금속은 Zn 전극에 비하여 Al전극이 우수한 특성을 나타내었으며 패턴의 경우에도 T-pattern에서 정전용량 및 손실의 변화율이 작게 나타난다. Al 전극에 wave-cut를 적용한 T-pattern 필름을 적용한 DC 1650V, 12 uF, 정격전류 40 A의 캐패시터를 제작하여 ESR 및 유전 손실이 적은 제품을 구현할 수 있으며 내구성 및 surge test 결과 신뢰성 규격을 만족하였다.

### [참 고 문 헌]

[1] Yasunobu Yoshida, Takaashi Muraoka, "The Development of High Voltage Power Capacitor Technology in Japan", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.11, No.1, pp.33-45,1995  
 [2] J.W. McPherson, J. Kim, A. Shanware, H. Mogul, and J. Rodriguez, "Trends in the Ultimate Breakdown Strength of High Dielectric Constant Materials", IEEE Transactions on Electron Devices, 50, pp. 1771. 2003