



Part. 4 기술 강좌

하이브리드카 커패시터 세대교체론



하이브리드카에는 구동과 시동 시 전기 모터에서 에너지를 공급하고, 제동 시 에너지를 회수하는 보조 에너지 저장장치로서 배터리, 초고용량 커패시터, 플라이휠이 필요하다. 하이브리드카에서 에너지 보조장치로 사용되는 울트라 커패시터와 전력변환 시스템의 인버터 회로에 적용되는 커패시터에 대해 살펴본다.

글 | 윤 중 락 박사 (yoonjungrag@samwha.com)
연구소장
삼화콘덴서공업(주)

하이브리드카(HEV)는 일반 엔진 자동차나 전기자동차에 없는 전기부품이 제공되며 구동 모터, 발전기, 배터리가 추가되면서 12~42V 전원 시스템에서 144~400V의 고전압 시스템이 요구된다. 특히 전기적 에너지가 크게 요구돼 기존에 고려하지 않았던 고전압/고전류 설계와 전력변환 시스템, DC-DC 인버터 회로에 적용되는 고압/대전류용 커패시터의 개발이 요구된다. 또한 하이브리드카는 구동 및 시동 시 전기 모터에서 에너지를 공급하고 제동 시 에너지를 회수하는 보조 에너지 저장장치로서 배터리, 초고용량 커패시터(Ultra capacitor), 플라이휠(Flywheel)이 필요하다. 그림 1은 울트

라 커패시터를 이용한 하이브리드카의 구성을 보여주고 있다.

커패시터의 종류와 특성

의도적으로 전하를 축적할 수 있도록 만든 장치를 “커패시터” 또는 “콘덴서”라고 부르며, 전기를 저장하거나 방출하는 축전지 기능과 주파수에 따른 임피던스 특성을 가지고 있다. 이상적인 커패시터는 용량성 리액턴스만을 가지며 불필요한 기생 특성을 가지지 않는 소자지만 실제 커패시터는 전극에 의한 저항성분, 유전체 재료에 의한 유

전손실이 합해진 등가직렬저항(Equivalent Series Resistance, ESR)과 전극 및 단자 길이에 의한 등가직렬인덕턴스(Equivalent Series Inductance, ESL)의 기생성분을 가지고 있으며 커패시터 자체의 절연저항(R_p)으로 구성된다. 그림 2는 실제 커패시터의 등가회로를 나타낸 것이다. 임피던스 특성은 식 1로 나타나며 ESR, ESL, 커패시턴스의 합으로 이루어진다.

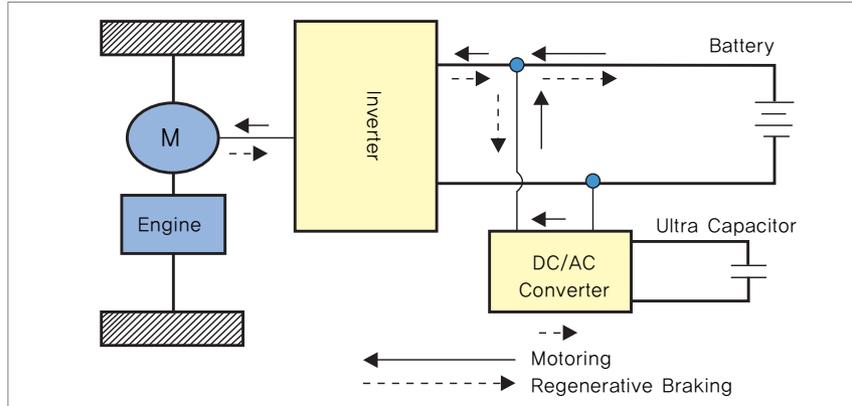
$$Z_s = R_s + j(\omega L_s - \frac{1}{\omega C}) = R_s + jX_s \quad | \quad Z_s | = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} \quad [식1]$$

주파수에 따른 임피던스 성질을 이용한

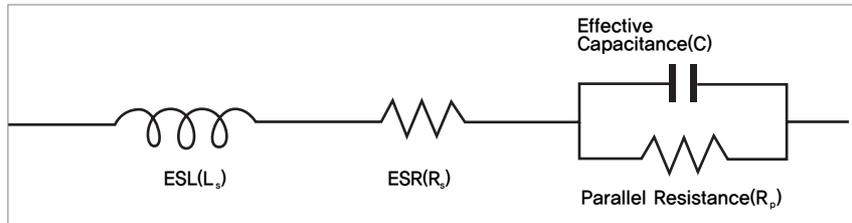
커패시터로는 유전율은 작지만 손실이 매우 적은 온도보상계 세라믹커패시터 및 필름커패시터, 유전율의 온도변화는 크지만 고유전율 특성을 이용한 고유전율계 세라믹커패시터, 유전손실 및 누설전류는 어느 정도 크지만 매우 얇은 유전체를 형성하여 대용량을 실현할 수 있는 전해커패시터 등이 있다. 표 1에 전해커패시터, 필름커패시터, 세라믹커패시터의 특징을 나타냈다. 그림 3은 유전체의 유전율에 의한 축적 현상을 이용한 커패시터와 계면 현상 및 유사용량을 이용하는 커패시터를 나타낸다.

그림 4는 에너지 축적 소자로 사용되는 커패시터의 특징을 나타내기 위하여 에너지 밀도 측면에서 초고용량 커패시터의 적용영역을 나타낸 그림이다. 그림을 보면 저 에너지밀도의 커패시터군이 저출력 밀도의 배터리 단점을 보완하면 순간적인 고풍력 충방전이 가능한 이상적인 에너지 특성을 나타낼 수 있음을 보여주고 있다. 초고용량 커패시터는 중량 당 에너지가 배터리의 1/10 이하이나 중량 당 출력 특성은 10배 이상으로 급속 충방전 특성이 우수하고 내구성이 우수하므로 고풍력을 위주로 하는 연료전지 하이브리드 차량 또는 상용(버스 또는 트럭) 차량의 에너지원으로 많이 적용되고 있다. 토요타자동차의 경우 Prius, Estima Hybrid, Camry HEV 등의 모델에 적용하고 있다. 사용되는 초고용량 커패시터는 공칭용량 68 F, 정격전압 2.1 V, 무게 당 에너지 밀도 2.3 Wh/Kg, 출력 밀도 3.8 kW/kg으로서 직경 18 mm, 길이 50 mm의 원통형이며 무게는 18 g, 1 셀은 7직렬×3병렬 회로로 설계된 것이 적용되고 있다. 최근 개발 판매되는 “Camry” 모델의 경우, 전에는 21개 셀을 이용하여 초고용량 커패시터 유닛을 구성했지만 최근에는 12개 셀을 적용하고 있다.

하이브리드카에 적용되는 초고용량 커패시터의 요구조건으로는 소형, 경량이며 온도 발열이 적고 장수명이 요구된다. 또한



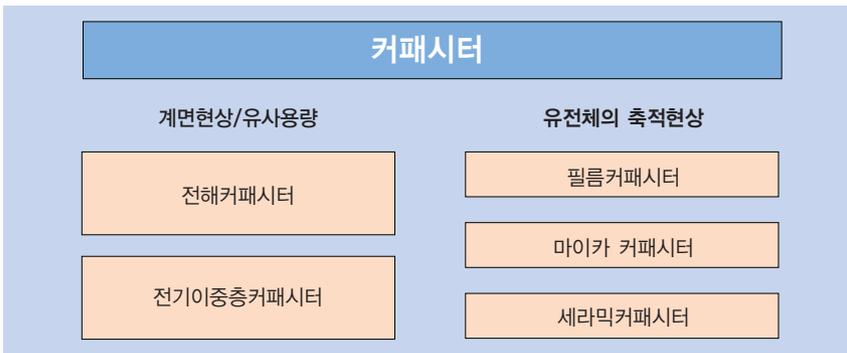
【그림 1】 하이브리드카 전기 계통도



【그림 2】 실제 커패시터의 등가회로

【표 1】 커패시터 종류별 특징

	세라믹커패시터	필름커패시터	전해커패시터
커패시턴스 (정격 전압: 250 V 기준)	10 pF~1 μF	10 pF~47 μF	10 pF~1000 μF
정격 전압	0~50 kV	0~30 kV	0~630 V
극성	No	No	Yes
손실(%), 1 KHz 기준	0.15~2.5	2~10	0.05~1.5
절연 저항	High	High	Medium
등가직렬 인덕턴스 (ESL)	Low	High	Very High
등가직렬저항 (ESR)	Very Low	Average	High
크기, 체적	Small	Large	Medium
정전용량 vs. 직류 전압 (전압 의존성)	Changes	Stable	Stable
정전용량 vs. 주파수 (주파수 특성)	Stable	Stable	Not stable

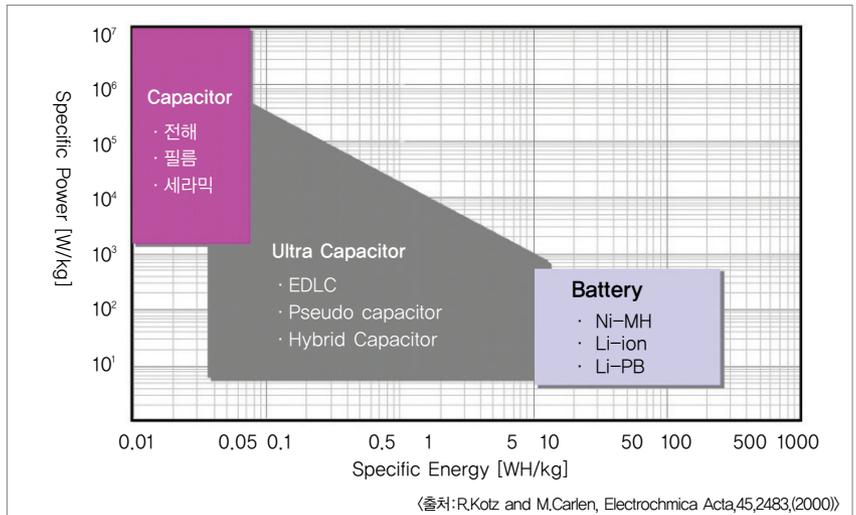


【그림 3】 유전체 축적현상과 계면현상을 이용한 커패시터 구분

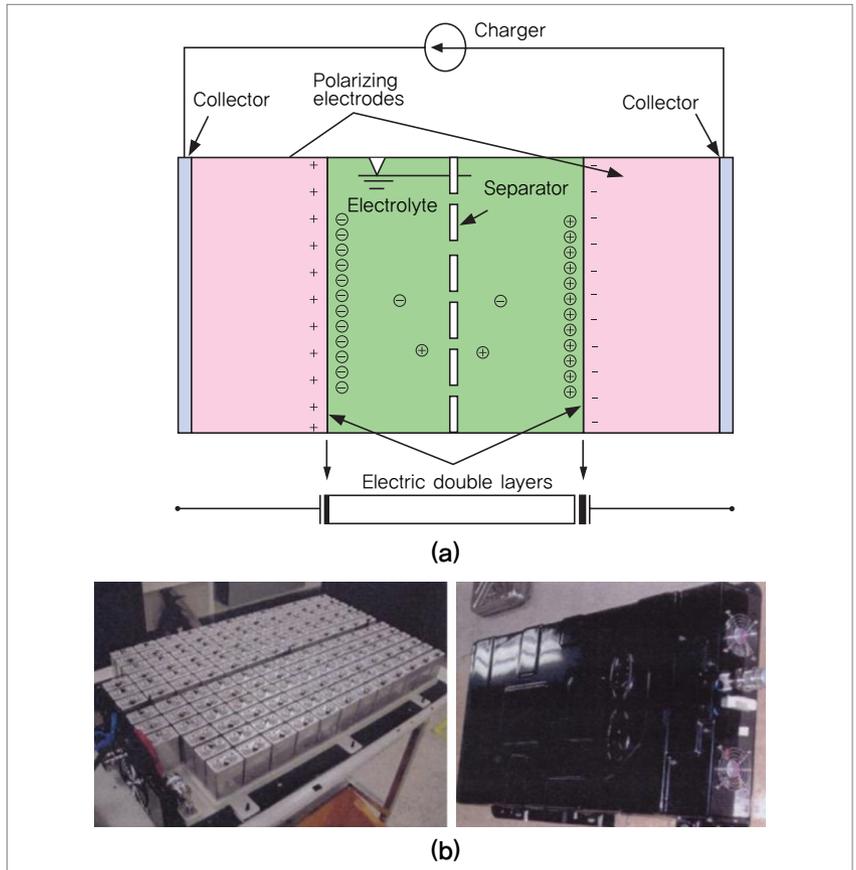
하이브리드카에 초고용량 커패시터를 적용하는 경우에 300 V 정도의 고전압이 요구되므로 직렬 연결 시 셀 간의 불균일에 따라 충전방전 시 발생하는 전압 차이로 인해 충방전이 누적되거나 고장 셀이 발생하여 심각한 위험이 발생하기도 한다.

이를 해결하고자 전압을 높이기 위한 팩 설계 시 필수적으로 전압 평형 알고리즘에 대한 연구와 더불어 BMS(Battery Management System), 운전 전략, SOC 검출 기술 등이 개발되고 있다. 그림 5(a)는 초고용량 커패시터의 구조로서 다공성 전극, 격리막, 전해질, 전극으로 이루어져 있다. 두 개의 평판 전극으로 이루어진 전기이중층 커패시터의 원리는 전극/전해질 계면 부근의 전기이중층에서의 정전기적 인력에 의한 전하 분리에 의해 발생하는 전기이중층 커패시턴스(electrochemical double layer capacitance) 및 전극/전해질 계면에서의 가역적인 패러데이(Faradaic) 산화/환원 반응에 의한 의사 커패시턴스(pseudo capacitance)를 이용하여 전하를 저장하는 것이다. 그림 5(b)는 개개의 초고용량 커패시터를 모듈화하는 과정과 최종 제품 사진을 보여주고 있다.

초고용량 커패시터는 전기이중층 커패시턴스에 의해 구현되는 전기이중층 커패시터 EDLC(electrochemical double layer capacitor), 의사 커패시턴스에 의한 의사 커패시터(pseudo capacitor), 비대칭 전극을 적용한 하이브리드 커패시터(hybrid capacitor) 등으로 분류할 수 있다. 일반적으로 EDLC는 수용액 전해질 내에서 10~40 F/cm²의 값을 나타내며 비표면적이 매우 큰 전극활물질을 사용하여 높은 축전 용량을 구현하게 된다. 그러나 EDLC의 전극활물질로 널리 쓰이는 활성 카본은 미세기공들의 전해질과의 불완전한 접촉으로 인해 가용 표면적 중 약 90%에 이르는 부분이 실제 커패시턴스에 기여할 수 없게 되어 이론치의 약 10% 정도의 축전 용량을 나타낸다.



【그림 4】 커패시터의 단위 중량 당 에너지 및 출력 밀도



【그림 5】 EDLC 구조 및 모듈

한편, 의사 커패시터는 전기이중층 커패시턴스뿐만 아니라 전극/전해질 계면에서의 금속산화물에 의한 산화/환원 반응에 따른

커패시턴스 특성도 함께 이용하므로 EDLC 보다 약 10~100배 정도 우수한 축전 용량을 나타내게 된다.

하이브리드 커패시터는 양극과 음극에 서로 다른 비대칭 전극을 사용함으로써 한쪽 극은 고용량 특성의 전극 재료를 사용하고, 반대 극은 고출력 특성 전극 재료를 사용하여 용량 특성을 개선한 것이다.

일반적으로 초고용량 커패시터의 작동 전압은 전해질에 따라 결정되지만 하이브리드 커패시터에서는 양극의 내전압이 작동 전압이 되기 때문에 고전압화가 가능한 장점이 있다. 표 2에 초고용량 커패시터의 분류와 특성을 나타냈으며 초고용량 커패시터가 가져야 할 주요 항목으로는 1)소형, 경량화 2) 간단한 장착 및 유지보수 불필요 3)급속 충전 특성 4)높은 에너지 효율 5)넓은 작동 온도 및 반영구적 수명 6)환경친화적인 전극 재료 사용 등을 들 수 있다.

【표 2】 초고용량 커패시터의 분류 및 특성

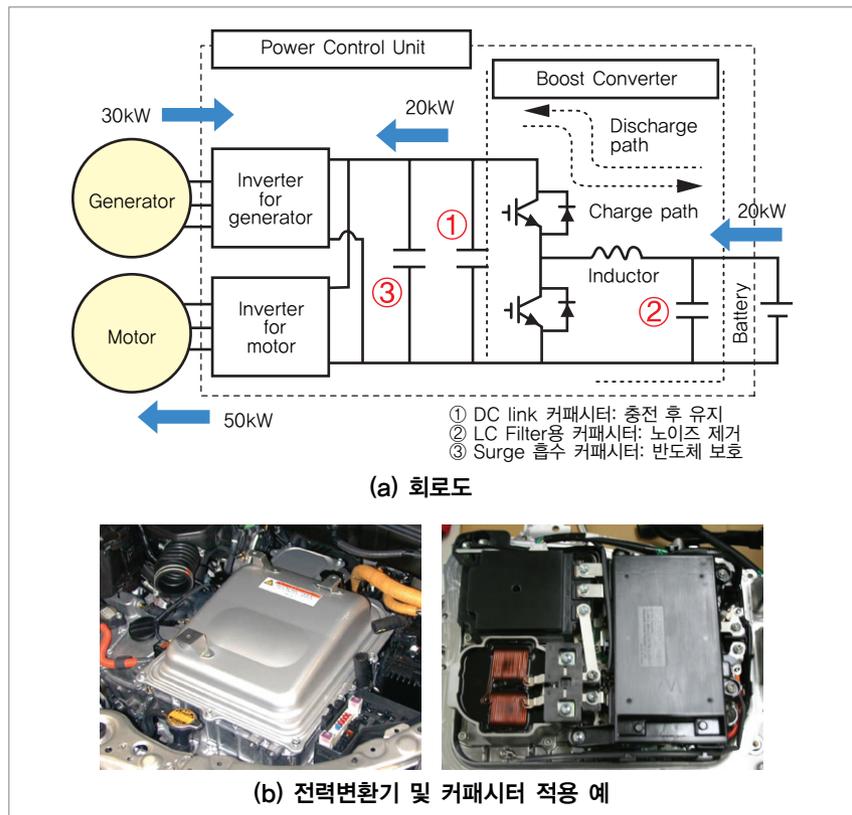
특성 \ 분류	EDLC		Pseudo capacitor		Hybrid capacitor	
	수용성	비수용성	수용성	수용성/비수용성	수용성	비수용성
전극 재료	활성 탄소분말 활성 탄소섬유 카본 에어로젤		금속산화물	전도성 고분자	탄소 금속산화물 전도성 고분자	
전해질	수용성	비수용성	수용성	수용성/비수용성	수용성	비수용성
작동전압 (V)	1	3(4)	1~2	1~3	2	4
비에너지 (Wh/kg)	1~3	2~10(75)	0.8~2	3~10	2~7	8~20
비출력 (kW/kg)	0.8~5	0.5~3	0.5~4	4	0.8~5	0.5~5
비표면적 (m ² /g)	1500~3000(600 이하)		90~150	NA	NA	
비정전용량 (F/g)	100~300	40~120	300~720	400~500	100~200	40~80
메커니즘	전기이중층(전하 흡착)		Redox 반응		전기이중층 Redox 반응 Intercalation	
상대 비용	medium~high		medium ~very high	low	medium~high	

(출처: 초고용량 커패시터 기술로드맵, 한국에너지기술연구원 진창수)

하이브리드카 DC-DC 인버터에 적용

그림 6은 하이브리드 전기자동차용 전력 변환 시스템의 회로도를 나타낸 것이다. 배터리와 모터, 발전기 사이에서 전력을 제어하기 위해 스위칭 소자, 발전기용 인버터, 모터용 인버터, 인덕터 및 커패시터 등의 부품으로 구성돼 있는 것을 확인할 수 있다. 하이브리드카용 인버터의 용량은 50~150 kW이고 커패시터는 DC 링크용, LC 필터용, 서지 흡수용으로 구분할 수 있다.

DC 링크(평활용)용 커패시터는 저압의 배터리 전압을 전압 부스터를 이용하여 고압의 시스템 전압으로 상승시킨 후, 이 전압을 유지시켜 인버터에 공급하기 위한 용도로 사용되며 커패시터 용량은 0.3~1 mF이 요구된다. LC 필터용 커패시터는 IGBT와 같은 반도체로 전력을 변환 시 펄스형의 리플 전류가 발생하게 되는데, 이 리플 전류가 배터리로 침입할 수 없도록 배터리와 병렬로 접속하여 사용하며 1~10 uF의 용량이 필요



【그림 6】 하이브리드 전기자동차용 전력변환 시스템의 개략적인 회로도

하다. 서지 흡수용 커패시터는 스너버 회로에서 IGBT의 스위칭 동작이나 배선의 인덕턴스에 의한 서지 전압이 발생할 경우, 서지 전압을 흡수하고 스위칭 소자를 보호할 목

적으로 사용된다. 특히 일차 측의 스너버용 커패시터에는 고주파의 큰 스위칭 전류가 흐르기 때문에 자기발열이 적은 커패시터가 요구되며 발열량이 많은 부품 근처에 사용

될 경우가 많기 때문에 고온 영역에서도 사용할 수 있는 커패시터가 적용된다. 커패시터 용량은 0.1~1 uF이 필요하다.

일반적으로 가전제품 및 산업용 인버터 회로에 사용되는 DC 링크용 커패시터는 소형이면서 대용량이 가능한 알루미늄 전해커패시터가 사용되고 있는 반면, 하이브리드카의 경우 고조파 전류 내량, 자기발열, 저손실, 고온 환경적합성 등의 요구에 따라 현재는 고압용 필름커패시터의 사용이 주류를 이루고 있다. 최근에는 하이브리드카에 요구되는 커패시터 특성을 만족하면서도 DC-DC 인버터를 소형화, 경량화를 할 수 있는 고압, 대전류용 적층 칩 커패시터(Multi Layer Ceramic Capacitor, MLCC)를 개발 중에 있다.

표 3은 하이브리드카에서 DC 링크용 커패시터로 적용하기 위해 개발 중인 적층 칩 세라믹(Multilayer Ceramic), 전해(Electrolytic), 필름(Polymer film) 커패시터의 특징을 신뢰성, 크기, 경제성 측면에서 검토한 내용이다. 표 4는 현재 DC 링크 커패시터의 개발 수준과 향후 요구되는 전기적 특성을 정리한 것이다.

그림 7에 DC-DC 인버터용 뿐만 아니라 일반적으로 하이브리드카 전장용 회로에 적용되는 커패시터의 응용 예를 들었으며, DC-DC 인버터 회로와 사용환경, 전력의 크기만 다를 뿐 용도는 동일함을 보여주고 있다. (a)는 리플 전류를 최소화하기 위한 입/출력단 smoothing용 커패시터, (b)는 LC 필터로서 노이즈 제거용, (c)는 by-pass 또는 backup용으로 사용된다.

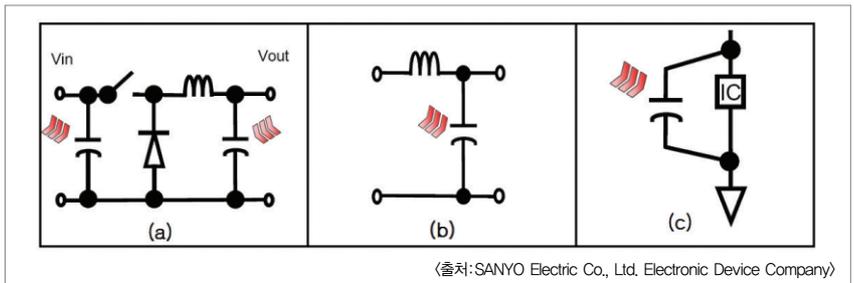
그림 8은 하이브리드카의 전자회로에 많이 적용되는 알루미늄 전해커패시터의 대표적인 구조이다. 전해커패시터는 양극 알루미늄 화성박/세퍼레이터/음극 알루미늄을 권취한 후, 전해액을 함침한 소자로서 양극박/음극박으로부터 단자를 인출한 후 봉입한 제품이다. 커패시터 개발 시 주요 기술은 (1)알루미늄박 에칭 기술개발, (2)유전체 피

【표 3】 DC 링크용 커패시터의 종류별 특징

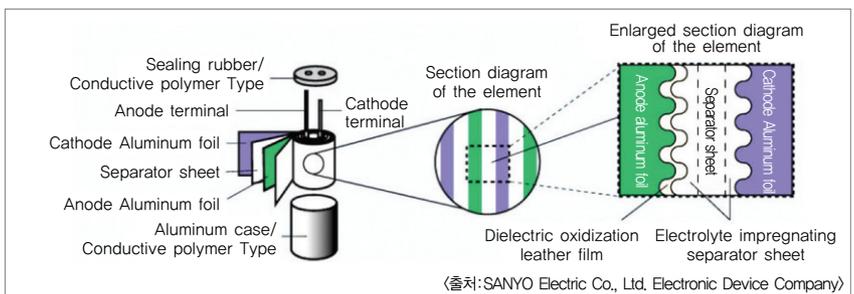
● Reliability	- Multilayer Ceramic (temperature); - Polymer film multilayer (soft breakdown behavior)
● Size	- Electrolytics - Ceramic capacitors - Polymer film
● Cost	- Electrolytic - Polymer film (3X less than ceramic) - Multilayer ceramic

【표 4】 DC 링크 커패시터의 현재 수준 및 향후 요구

특성	현재(2008)	2010년 예상
정전용량	500 μ F +/-10%	2000 μ F +/-10%
정격전압	600 VDC	600 VDC
과도전압	600 V Peak 50 ms	700 V Peak for 50 ms
누설전류		1 mA at 정격전압
손실계수 (dissipation factor; DF)	< 2%	< 1%
ESR, ESL	< 3 milliohms	< 3 milliohms, < 20 nH
리플 전류	80 Amps RMS	250 Amps RMS
온도	-40 $^{\circ}$ C~+85 $^{\circ}$ C	-40 $^{\circ}$ C~+140 $^{\circ}$ C
수명	> 5,000 hr, +85 $^{\circ}$ C	> 10,000 hr, +85 $^{\circ}$ C



【그림 7】 커패시터의 주요 용도



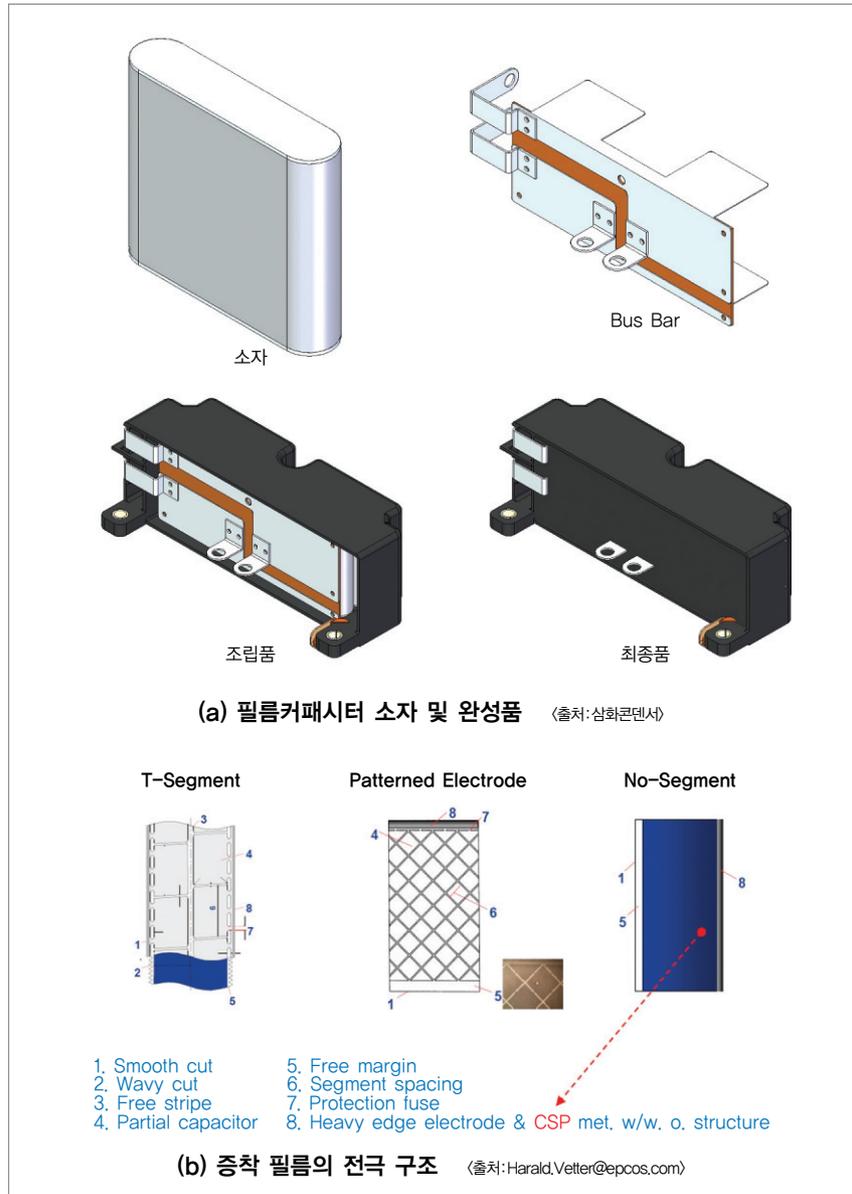
【그림 8】 알루미늄 전해커패시터의 대표적인 구조도

막 개발, (3)세퍼레이터 개발, (4)전해액 개발 등으로 구분할 수 있다. 하이브리드 전기자동차 초기 모델에서는 DC-링크 커패시터로서 400 V급의 전해커패시터를 프리어스

에 적용했으나 최근에는 내열성 및 고전류 리플 전류에 의한 발열문제로 사용하지 않고 있다. 그러나 전장 회로에서는 그림 7과 같은 용도로 많이 적용되고 있다. 자동차 전

장 회로에 사용되는 알루미늄 전해커패시터의 특성으로는 소형, 고기능화, 주변 사용온도에 대한 수명 안정성, 내진동성, 저 ESR 및 임피던스화가 요구된다. 전해커패시터에서 ESR은 양극박 산화 피막에 의한 손실, 전해액과 세퍼레이터의 계면저항으로 이루어진다. 저주파 영역에서는 산화 피막에 의한 손실이 크고 고주파 영역에서는 전해액과 세퍼레이터 계면의 저항에 의한 영향이 크게 나타난다. 최근에는 전해커패시터의 단점을 보완하기 위해, 하이브리드카에 적용되는 DC-링크 커패시터를 알루미늄 유전체 피막과 전해액에 중점을 두고 개발하고 있다. 기존의 유전체 피막의 내전압 한계는 600 ~700 V(정격전압 환산으로 450~550 V)이었으나, 최근에 하이브리드카 용도를 목표로 800~1,000 V급의 고전압 유전체 피막을 제조하는데 성공했다. 제조방법으로는 봉산 암모니아 용액 중에 에칭된 박을 침적하여 전압을 가하는 양극 산화반응에 의해 유전체 피막을 형성하고 있다. 또한 하이브리드카용 커패시터에서는 고온 특성이 우수한 내열성 유전체 피막을 적용하고자 “비정질 피막” 개발에 집중하고 있다. 일반 용도의 알루미늄 전해커패시터에서는 박막이면서도 내전압이 높은 “결정성 피막”을 적용했으나 결정화가 진행된 부분에서는 피막 중에 결함이 발생하기 쉽고 고온에서는 누설전류가 큰 단점을 가지고 있어서 고온 신뢰성이 저하된다. 반면 “비정질 피막”은 결정성 피막에 비해 동일한 내전압에서 유전체 피막이 두꺼워 정전용량은 적지만 피막 중의 결함부가 적어 고온에서도 가혹한 충방전·과도한 리플 전류 등의 전기 스트레스를 가해도 견딘다.

그림 9 (a)는 하이브리드카용 필름커패시터의 구조를 나타낸 것이다. 금속 증착 필름을 권선하여 소자를 형성한 후 외부에 금속을 증착한 소자를 Bus bar로 연결하여 에폭시로 몰딩한 커패시터이다. 그림 9 (b)는 초박막 내열성 베이스필름(폴리프로필렌 필름



[그림 9] 하이브리드카용 필름커패시터의 구조 및 증착 필름 전극 구조

등의 플라스틱 필름)에 250~1000 Å의 금속을 증착시킨 자기회복성(Self healing) 필름으로 유전체의 한쪽 끝에 T-segment를 준 구조와 segment를 주지 않은 구조를 보여주고 있다. 필름의 segment 종류와 마진에 의해 전극 간 절연 파괴 전압을 개선할 수 있으며 하이브리드카용 커패시터와 같은 대전류용 커패시터 제작 시 금속 증착 과정에서 Termination 할 모서리 부분에 금속 증

착의 두께를 증가시켜 ESR을 줄일 수 있다. 또한 보안성 향상을 위해 패턴을 가진 자기회복성 필름을 사용함으로써 국부 결함에 의한 단일 사고가 커패시터 전체로 확산되는 것을 막을 수 있다. 커패시터 설계에 있어서는 소형, 경량화, 저 인덕턴스화를 위해 유전체 고전위 경도를 가지는 유전체 필름을 적용하고 원형 구조의 소자를 사각 구조의 소자로 만들어 체적을 줄이려는 노력이 진

행되고 있다. 소자의 구조와 배열을 통해 소자 간을 연결하는 Bus bar의 길이를 최소화하여 2500~3000 μF 의 대용량 커패시터에서 기존 80 nH에서 20 nH 이하의 ESL 및 저 ESR을 구현했다. 이와 같은 개발 개념 적용을 통하여 고조파 리플 전류에 의한 자기발열을 최소화하기 위한 노력이 진행되고 있다. 표 4는 필름커패시터를 하이브리드카에 적용할 경우에 장점이다. 전기적 특성으로는 고조파 리플 전류에 대한 안정성이 크고 기계적으로는 유지보수가 필요 없으며 안전 측면에서는 발화에 대한 위험이 적은 것이 특징이다.

그림 10은 삼화콘덴서가 제작한 하이브리드카용 커패시터(정격용량: 500 μF , 정격전압: 600 V)의 주파수에 따른 전기적 특성을 나타낸 것으로 임피던스, 용량 변화율, 유전체 손실 및 ESR이 우수함을 보여주고 있다. 특히 유전손실($\tan\delta$)은 규격에 비해 현저히 낮으며 주파수에 따른 임피던스 및 리플 전류에 의한 발열량을 최소화 할 수 있는 전기적 특성이 나타남을 보여주고 있다.

그림 11은 세라믹을 이용한 MLCC의 구조로 BaTiO_3 계 유전체 원료, 내부 전극 및 외부 전극으로 구성돼 있으며 유전체와 여러 장 적층하여 만든 구조이다. MLCC의 용량 [C]은 식 2에 의해 유전율과 적층수 N에 의해 결정된다. 하이브리드카용으로 적용되는 커패시터는 유전율이 1,500~2,500이고 X7R, X8R 온도 특성을 가지면서 전압에 따른 용량 변화율이 적은 유전체를 사용하고 적층수를 많이 하여 소형이면서도 고압, 고용량을 얻을 수 있는 장점이 있다.

$$C = \frac{8.854 \times 10^{-12} \cdot \epsilon_s \cdot (a \times b) \cdot N}{t} \quad [\text{식2}]$$

ϵ_s : 유전체의 유전율

N: 유전체의 적층수

$a \times b$: 전극의 유효 면적

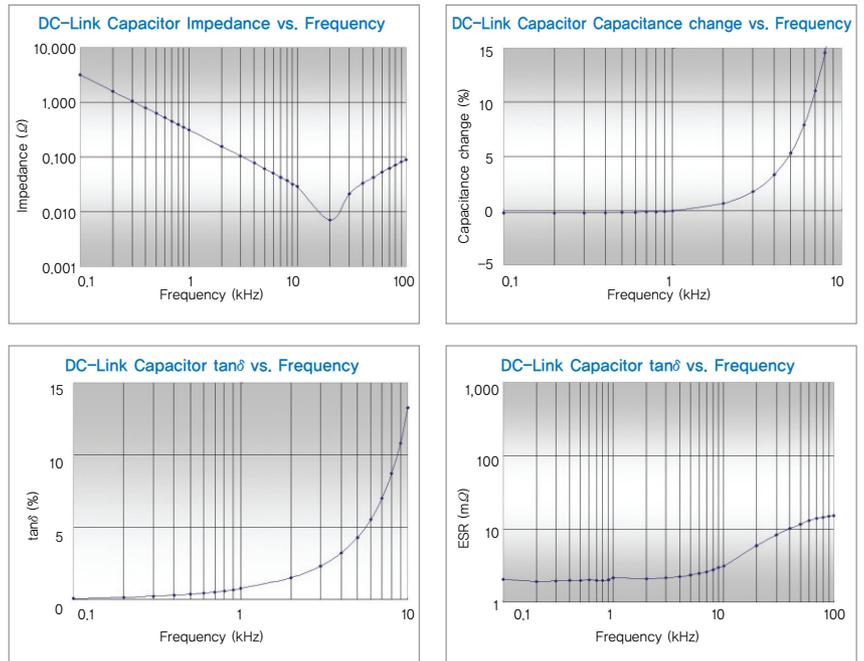
t: 유전체의 두께

그림 12는 최근 하이브리드카의 커패시터

【표 4】 하이브리드카에서 필름커패시터의 장점

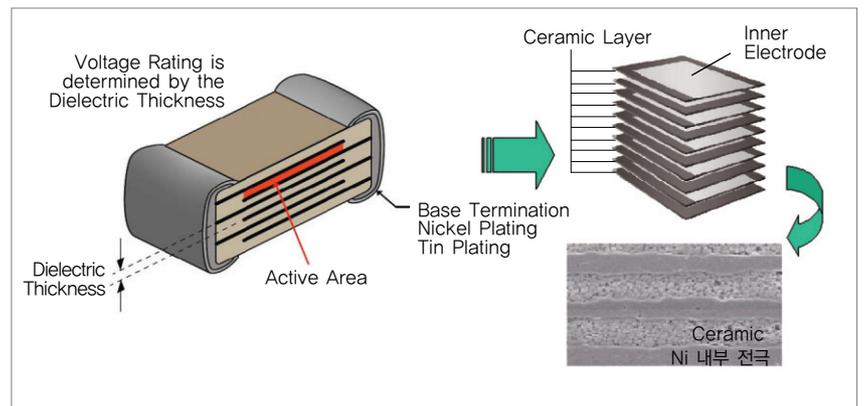
Electrical	Mechanical	Safety
Long service life Low self-inductance High current handling High peak current High reversal voltage	Reduced volume and weight No mounting position Various fixing styles Maintenance-free	Dry technology (oil-and electrolyte-free) Self-healing (SH) Non-flammable Environment PCB-free product Simple disposal

(출처: Harald.Vetter@epcos.com)



【그림 10】 필름커패시터의 주파수에 따른 전기적 특성

(출처: 삼화콘덴서)



【그림 11】 적층칩커패시터(MLCC)의 구조

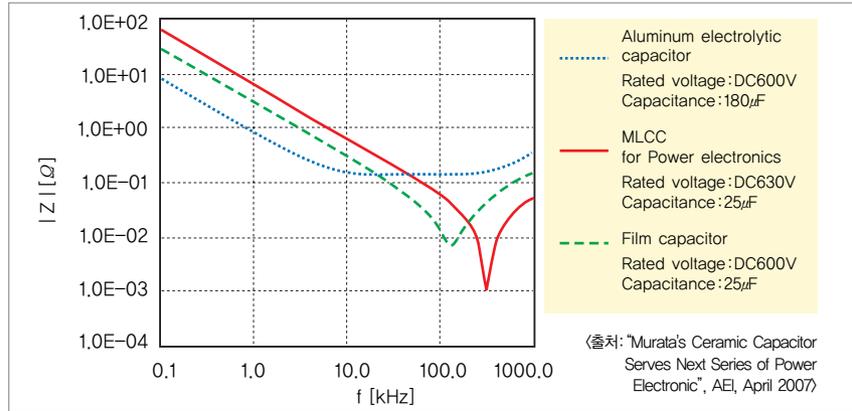
모듈에 적용되는 MLCC(정격용량: 25 μF , 정격전압: 600 V)의 주파수에 따른 임피던스 특성을 나타낸 것이다. 주파수에 따른 임

피던스 특성이 우수함을 확인할 수 있다. 커패시터에서 임피던스 특성은 주파수에 의한 유전체 손실, 도체의 손실, 인덕턴스 성분이

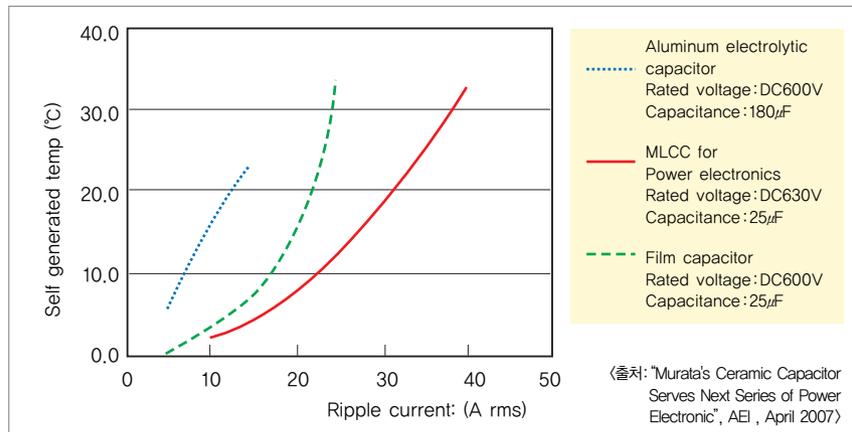
포함된 것으로 이상적인 커패시터에서는 주파수가 증가할수록 낮아진다. 임피던스 특성 곡선을 보면, MLCC가 ESL이 적어 높은 주파수 대역에서 공진주파수가 나타나고 고주파 영역에서 ESR이 작아 주파수에 따른 임피던스가 작음을 볼 수 있다. 발열현상은 임피던스와 주파수 특성 곡선으로부터 유추할 수 있다. 저주파에서 임피던스가 높아 정격전압 이하의 교류 전압에서는 커패시터로 흐르는 전류가 적기 때문에 ESR에 의한 온도상승은 무시할 수 있으나 고주파에서는 임피던스가 적어서 대전류가 흐르게 되어 커패시터의 손실에 의한 발열이 커지므로 고주파 영역에서의 임피던스 특성이 중요하다.

그림 13은 리플 전류에 따른 커패시터의 발열 특성을 나타낸 것이다. DC 링크용 커패시터의 경우 충·방전되는 리플 전류에 의한 주울 열로 커패시터 자체의 발열이 커지는 문제가 발생한다. 특히 하이브리드카의 경우 커패시터에 대전류가 흐르며 커패시터 손실 성분(재료의 손실+ESR)에 기인하는 전력소비가 크게 되어 자기발열이 발생하므로 커패시터의 신뢰성에 악영향을 미친다. 이상적인 커패시터는 커패시턴스 성분만으로 이루어져 있지만, 실제 커패시터는 전극이 저항 성분을 가지고 있고 유전체에도 손실이 있으며 인덕턴스 성분도 있다는 점을 앞서 설명한 바 있다. 또한 실제적인 커패시터의 등가회로도 앞서 언급했으며 커패시터에 교류 전류 I가 흐르면, 커패시터의 ESR에 의해 식 3에서 전력소비 P_e 가 생겨 커패시터가 발열한다. MLCC의 경우 금속을 전극으로 사용함으로써 ESR과 세라믹 재료 및 금속의 열전달 특성이 우수하여 리플 전류에 대한 자기발열이 작음을 보여주고 있다.

MLCC를 하이브리드카에 적용할 경우에도 많은 장점에도 불구하고 경제성 측면에서 단점을 가지고 있으나, MLCC 공정상 대량 양산 시 경제성 측면에서는 기존의 필름커패시터보다 저가격으로 양산할 수 있어 향



【그림 12】 MLCC의 주파수에 따른 임피던스 특성



【그림 13】 MLCC의 리플 전류에 따른 자기발열

후 하이브리드카용 인버터에 사용이 증가할 것으로 예상된다.

$$P_e = I^2 \times ESR = Q_h \quad [식 3]$$

여기서 P_e : 실효전력(소비전력)[W]

I: 커패시터에 흐르는 전류[A_{rms}]

Q_h : 단위시간 당 발열량[J/s]

결론

하이브리드카에 대한 수요 증가와 함께 신뢰성이 요구되는 전장부품의 중요성도 날로 더해질 것이다. 특히 향후 보조전원으로 서 하이브리드 초고용량 커패시터의 수요가

급격히 증가할 것으로 예상된다. 또한 DC-DC 인버터용 회로에 적용되는 커패시터 경우에도 각각의 커패시터 특성에 따라 전해, 필름, MLCC의 사용이 증가할 것이고 대전류, 고전압에서 발열 특성이 우수한 커패시터의 개발이 가속화될 것이다.

하이브리드카에서 공간제약과 경제성을 고려한 전장 회로의 설계가 중요한 이슈로 부각되고 있다. 향후 커패시터의 선정에 있어서도 신뢰성, 체적 측면뿐 아니라 경제성에 대한 중요성이 크게 부각될 것으로 예상된다. 현재 주로 필름커패시터가 사용되고 있지만 향후 신뢰성과 체적 측면에서 개선된 전해커패시터와 MLCC의 적용이 증가하게 될 것이다. 