

# 스마트 그리드 시스템에서 전력안정화 및 에너지저장용으로 적용되는 초고용량 커패시터 기술 동향

윤중락 연구소장, 이경민 팀장 (삼화론엔지니어링(주))

## 1. 서론

최근 CO<sub>2</sub> 배출 규제 및 친환경 관련 제품과 신재생 에너지에 대한 요구가 증가되어짐에 따라, 에너지 저장시스템에 적합한 에너지 저장장치의 개발이 요구가 증가되고 있다. 에너지 저장 기기로는 그림 1과 같이 고 에너지 밀도를 가지는 리튬이차전지, Ni-MH 전지, Ni-Cd 전지, 납축전지와 같은 이차축전지류와 높은 출력 밀도를 가지면서도 충·방전 수명이 무제한에 가까운 Super capacitor 또는 Ultracapacitor (EDLC, Electric double layer capacitor)를 비롯한 알루미늄 전해 커패시터 및 세라믹 커패시터가 있다.

Super capacitor는 2008년 교과부의 녹색성장 산업 분야의 고효율 에너지저장, 활용기술로 선정된 기술이며, 국가과학기술 표준분류 체계 상 <대분류: 전기·전자>, <중분류: 전지>, <소분류: 초고용량 커패시터>에 위치한다. Super capacitor는 순간적으로 많은 전기 에너지를 충전 후 높은 전류를 수 초 또는 수 분에 걸쳐 순간적 혹은 연속적으로 방전 공급하는 고출력, 장수명 전기 에너지 저장 기기로서 기후 변화 협약, 국제적인 친환경 정책 및 녹색 기술의 전향적 보급 전망에 따라, 전기 에너지를 효율적으로 저장하는 초고용량 커패시터 기술과 리튬이차전지 기술은 기존 산업을 획기적으로 바꿀 수 있는 와해성 기술 (Disruptive technology)로 분류되었다.

산업용 에너지 저장장치에서 산화탄소 배출이 없는 친환경 청정 대체에너지인 태양광, 풍력, 수소연

료전지 등의 신재생 에너지 저장장치로 중요도가 높아짐에 따라 최근 성장률이 증가하고 있는 추세이며, 스마트그리드 시스템에서의 전력 안정화를 위한 시스템용 Super capacitor의 수요가 급격히 증가할 것이다. 전력저장 수요시장은 크게 전력수용가, 전력회사 및 분산전원 (신재생) 분야로 구분되며, 지금까지의 국내 전력저장 시장은 공급측면에서 양수발전소가 주류를 이루어 왔고, 수용가 측면에서는 주로 무정전시스템 (UPS)을 중심으로 형성되어 왔으나 앞으로는 적용 분야가 매우 다양해질 것으로 예상된다. 특히 분산전원 보급 확대에 의한 출력 불안정 해소, 마이크로그리드와 직류배전 적용에 따른 신규 전력저장 필요성 및 전력평준화와 품질향상을

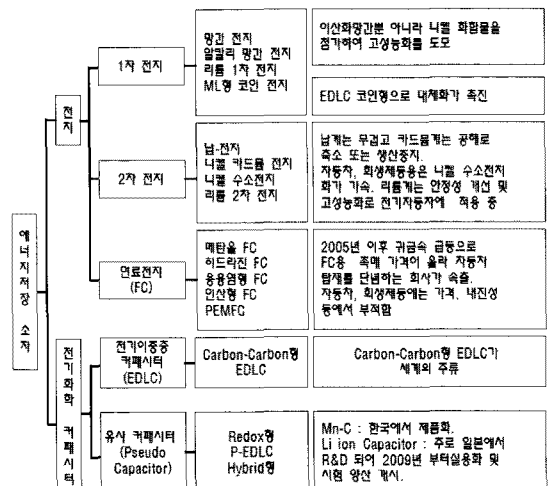


그림 1. 에너지 저장 소자의 개요와 최신동향.

위한 전력저장 장치의 필요성이 증대될 것으로 예상되며, 에너지 수송장치 분야에도 회생에너지 저장장치로서의 응용이 증가되고 있다. 본고에서는 에너지 저장장치 측면에서의 Super capacitor의 기술개념과 원리를 설명하고 Super capacitor의 최신 개발 이슈인 Hybrid super capacitor의 원리 및 연구 동향을 소개하고자 한다.

## 2. Super capacitor 원리

전기화학 커패시터 (Electrochemical capacitor)는 전기적으로 커패시터의 거동을 보이는 것으로 대표적으로 전기이중층 커패시터 (Electric double layer capacitor, EDLC), 유사 커패시터 (Pseudo capacitor), 하이브리드 커패시터(hybrid capacitor)가 있다. 전기이중층 커패시터는 전극 양단에 전위차가 가해지면 두 전극 각각 전자 (-)와 양전하 (+)가 모이고 이로 인해 전해질 내에서 각각의 전극 주위에 반대되는 전하 이온들이 모여서 전기적 이중층을 형성하여 이온의 저장이 일어나는 것을 주요한 원리로 하고 있다 [1,2].

그림 2는 EDLC의 기본 구조로서 전극 (Electrode), 전해질 (Electrolyte), 분리막 (Separator) 등의 내부 구성물과 외장재로 구성되어 있으며, 이 중에서 용량을 비롯한 대부분의 제품성능을 결정짓는 것은 전극으로서 전극 활물질 (Active material), 도전재 (Conductor), 집전체 (Current collector) 등으로 구성되어 있다.

그림 3은 전극구조로서 ① 높은 전자 전도성, ② 넓은 표면적, ③ 전기화학적 비활성, ④ 용이한 성형과 가공성이 요구되며, 지금까지 제안된 탄소 재료로는 활성탄 (Active carbon), 활성탄소 섬유 (Active carbon fiber), 비정질 탄소 (Glassy carbon), 탄소 에어로젤 (Carbon aerogel), 탄소나노튜브 (Carbon nanotube) 등이 있다 [3-5].

현재 사용되고 있는 탄소 전극은 많은 이온들이 전기적 흡착할 수 있도록 2~50 nm의 Pore를 가지면서, 큰 비표면적 (1,000~3,000 m<sup>2</sup>/g)의 활성탄 (Active carbon)이 주로 적용되고 있으며, 비표면적

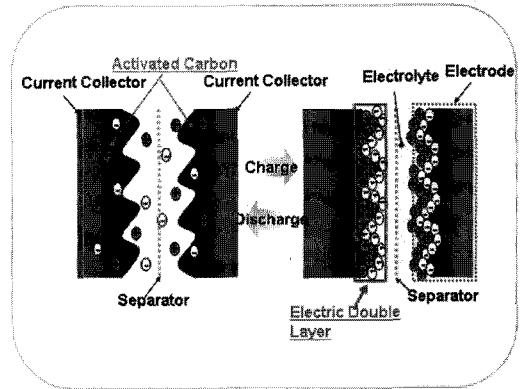


그림 2. EDLC 기본 구조 및 충·방전 메커니즘.

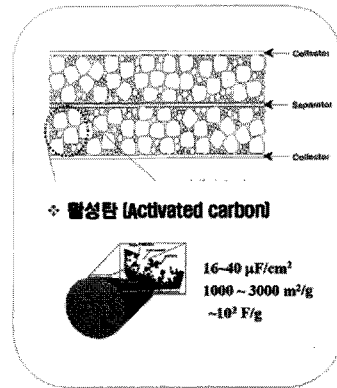


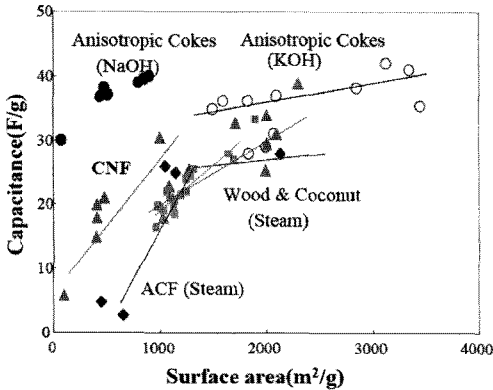
그림 3. EDLC 전극구조 및 활성탄 구조.

을 넓이기 위하여 대표적으로 알칼리 부활 또는 수중기 부활 방법에 의해 만들어 진다. 전기이중층 이론에 의하면 전기이중층 축전상수는 Helmholtz plane 상수와 Diffuse double layer 상수로 나타낼 수 있는데, 단위 면적당 전하 밀도와 전기 이중층 전위와의 관계는 식 (1)로 표현되며, 용량은 16~40 μF/cm<sup>2</sup> 정도이다 [6].

$$C = \int \epsilon / (4\pi\delta) dS \quad (1)$$

ε : 전해액의 유전율  
 δ : 전극계면에서 이온의 중심까지의 거리  
 S : 전극 계면의 표면적

그림 4는 최근까지 개발 및 상용화된 활성탄의 비표면적과 비정전용량과의 관계를 나타내었다.



출처 : Michida lab. Data  
그림 4. EDLC 전극용 활성탄 특성.

### 3. Super capacitor 종류 와 특성

Super capacitor는 사용되는 전해질에 따라 수용성과 비수용성(유기성)으로 구분되며, 수용성 전해질의 경우 출력특성은 높지만 셀당 1V 정도의 낮은 작동전압을 나타내므로, 에너지밀도가 낮은 단점을 가지고 있다. 유기성의 경우 ESR (Equivalent Series Resistance)은 불리하지만, 셀당 약 2.3~3 V의 작동전압을 가지므로 에너지밀도 특성이 우수하다. 표 1은 초고용량 커패시터의 분류 및 각각의 특성을 나타내었다.

EDLC는 앞 절에서 언급하였듯이 전기이중층 메커니즘을 적용한 것으로 전극 재료로서는 활성탄, 활성탄소 섬유, 카본 에어로젤이 적용되며, 이미 상업화에 성공하여 에너지 밀도 20 Wh/kg, 출력밀도 3 kW/kg까지 상용화되어 적용되고 있다. Pseudo capacitor는 전극과 전기화학 산화물 반응물의 산화환원 반응을 이용하여 화학 반응을 전기적 에너지로 전환하여 저장하는 커패시터로서 EDLC가 전기화학 이중층형 전극 표면에 형성된 이중층에만 전하를 저장하는 데 비하여 전극 재료의 표면 근처까지 전하를 저장할 수 있어 저장 용량이 EDLC에 비하여 약 5배 정도 크다. 금속산화물 전극재료의 경우 대표적으로 RuO<sub>x</sub>, IrO<sub>x</sub>, MnO<sub>x</sub> 등이 있으며, 연구 결과에 의하면 결정도가 높은 재료보다는 비정질재료가 용량과 기타 물성에서 유리한 것으로 알려져 있다 [6]. Hybrid capacitor 원리는 양극과 음극에 작동전압 영역 및 비

표 1. Super capacitor 종류 및 특성.

분류특성	EDLC		Pseudo capacitor		Hybrid super capacitor	
	수용성	비수용성	수용성	수용성 / 비수용성	수용성	비수용성
전극재료	활성탄소분말 활성탄소섬유 카본에어로젤		금속 산화물	전도성 고분자	탄소/활성탄 금속산화물 (LTO) Li-ion	
전해질	수용성	비수용성	수용성	수용성 / 비수용성	수용성	비수용성
작동전압 (V)	1	3	1~2	1~3	2	4
비에너지 (Wh/kg)	1~3	2~10	0.8~2	3~10	2~7	8~15
비출력 (kW/kg)	0.8~5	0.5~3	0.5~4	4	0.8~5	0.5~5
비표면적 (F/g)	1,500~3,000		90~150	NA	NA	
비정전 용량(m²/g)	100~200	40~80	300~760	400~500	100~200	40~80
메커니즘	전기이중층 (전하흡착)		Redox 반응		전기이중층 Redox 반응 Intercalation	
상대비용	Medium~ high		Very high	Low	Medium-High	

축전 용량이 상이한 비대칭전극을 사용함으로써 한 쪽 전극은 고용량 특성의 전극재료를 사용하고, 반대극은 고출력 특성 전극재료를 사용하여 용량 특성을 개선하고자 한 것이다. Hybrid super capacitor는 고출력 특성 손실을 최소화하며, 높은 작동 전압 및 높은 에너지밀도 특성을 발현하는 새로운 개념의 초고용량 커패시터 기술이다. 에너지밀도의 향상을 위한 Hybrid super capacitor의 경우 전극 소재의 전극 전위, 가용 전극 전위 영역, 비축전 용량, 고속 충·방전 특성을 고려하여 다양한 비대칭 전극의 조합이 가능하므로 이를 고려한 신개념 비대칭 Hybrid super capacitor 및 이의 적용을 위한 전극 소재, 전해질에 대한 연구 개발이 진행되고 있다 [6,7,12].

### 4. Hybrid super capacitor 최근 기술 동향

그림 5는 에너지 저장 장치의 전력밀도 및 에너지 밀도를 표시한 Rogone plot으로서, 에너지 밀도는 리

튴이온전지가 100 Wh/kg의 특성을 가지는 반면에 전기이중층 Super capacitor의 경우 20 Wh/kg으로 작은 에너지 밀도를 가지고 있다. 장점으로는 충·방전 시 화학적 반응을 수반하지 않으므로 응답이 빠르고 대전류 충·방전이 가능하며 충·방전 사이클이 반영구적이다. 또한, 고온 및 저온 특성이 우수하여 사용온도 범위가 이차전지에 비하여 넓고 보호회로가 단순한 장점을 가진다. 에너지 저장 장치로 Super capacitor를 응용하기 위해서는 에너지 밀도를 향상이 필요하며, 그 방안으로 고용량의 비대칭 전극이 적용된 Hybrid super capacitor의 제안되고 있으며, 대표적으로 리튬이온 커패시터 (LIC)와 Nano hybrid super capacitor의 개발이 진행되고 있다 [8-10]. 그림 6은 EDLC와 hybrid super capacitor의 구조, 용량, 에너지 및 양극, 음극 소재를 나타낸 그림이다. 리튬이온 커패시터 (LIC)는 활성탄과 Li pre-doped 흑연계 탄소를 각각 양극과 음극에 사용하였으며, Nano hybrid super capacitor는 활성탄과 Carbon Nano Fiber (CNF)에 LTO를 담지 시킨 전극을 적용한 비대칭형 구조이다 [11]. 전해액은 일반적으로 LiBF<sub>4</sub>, LiPF<sub>6</sub> 등의 리튬염을 용해한 유기 용매를 적용하며, 리튬이온 커패시터 (LIC) 전위 변화는 그림 7로 설명된다. 음극에 Li pre doped함으로써 음극 전위가 Li 전위에 가깝게 저하되고 Li pre doped 후 셀 충전에서 전해액중의 Li 이온이 음극에 삽입됨으로서 음극 전위가 더욱 더 저하된다. 이때 양극에서는 음이온이 전기이중층에 축적하여 충전되게 된다. 양극 용량에 비하여 음극 용량이 크므로 방전 시에는 음극 전위를

낮게 유지한 상태에서 양극은 충전 개시 전압보다 낮은 전압을 이용할 수 있다. 음극의 리튬 도핑에 의해 음극 전위가 낮은 영역을 이용할 수 있으며, 양극의 이용 전위 범위를 넓게 취하여 충전 상한 전압이 3.8 V로 대칭형 EDLC의 2.5~2.7V에 비해 약 1.5배 높고 또 용량도 같은 구간에서 약 2배로 고용량이다. 따라서 에너지 밀도도  $Q=1/CV^2$ 으로 약 4배로, 지금까지의 대칭형 EDLC에 비하면 매우 크다.

그림 8은 대표적인 리튬이온 커패시터 제조사인 일본 JM Energy에서 발표한 내용으로 대표적 응용 분야로는 가전, 전력 품질 향상용, 수송, 기계 등의 회생제동/가속용 전원에 적용하며 42 V 모듈을 1 kW 급 풍력의 발전출력 평균화 결과도 발표한 바 있다.

Super Capacitor (EDLC)	Nano Hybrid Capacitor (LTO Capacitor)	Li-ion Capacitor (LIC)
$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_c}$ $C_a = C_c = C_{AC} \cdot C_{EDLC} = \frac{C}{2}$ $E = \frac{C_{EDLC} V_{EDLC}^2}{2} = \frac{C_{AC} V_{EDLC}^2}{4}$	$\frac{1}{C_{LIC}} = \frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_c}$ $C_a \gg C_c = C_{AC}, C_{LTO} = C_{AC}$ $E = \frac{C_{AC} V_{EDLC}^2}{2} = \frac{C_{AC} V_{EDLC}^2}{2}$	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cathode : Active Carbon</li> <li>• Anode : Active Carbon</li> <li>• 전압 : 0 ~ 2.7V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cathode : Active Carbon</li> <li>• Anode : Lithium Titanate</li> <li>• 전압 : 0 ~ 3.0V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cathode : Active Carbon</li> <li>• Anode : Li-doped Graphite</li> <li>• 전압 : 2.2 ~ 4.2V</li> </ul>

그림 6. EDLC와 Hybrid super capacitor 구조 및 특성 비교.

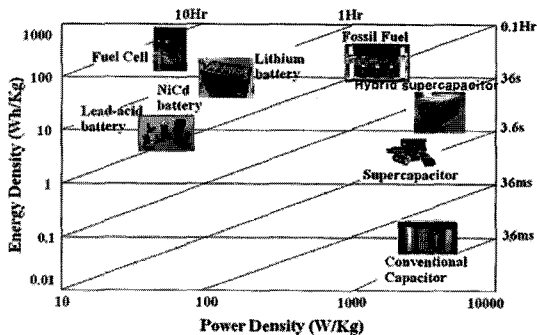


그림 5. Ragone plot (에너지 저장 및 발생 장치들의 Energy density와 Power density와의 관계).

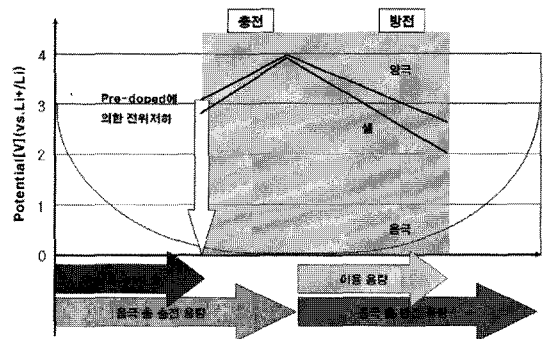
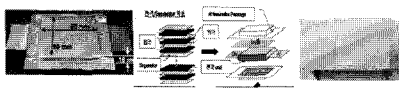


그림 7. 리튬이온 커패시터 (LIC)의 Li-doped에 수반하는 전위 변화.

Nano hybrid capacitor는 리튬이온 커패시터와 유사한 구조로서 음극 전극을 CNF (Carbon nano fiber)와 nano-LTO(Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)를 그림 9의 형태로 만든 구조로서 리튬 티타늄계 금속산화물 (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)은 Li에 비하여 구조적으로 매우 안정한 것으로 알려져 있는 스피넬 음극에 적용하면서 출력밀도를

구조	
단셀 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 정격전압 : 3.8V</li> <li>◆ 정격용량 : 1,000 ~ 2,200F</li> <li>◆ 충방전 수명 : 100,000회 ~</li> <li>◆ 사용온도 : -20 ~ 70°C</li> </ul>
용도	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 가전용 파워 백업</li> <li>◆ 전력 품질 안정화용</li> <li>◆ 재생에너지원 출력변동 평준화 (42V)</li> <li>◆ 수송, 기계분야의 회생제동/가속의 부하평준화용</li> </ul>

【출처】 : Capacitor world summit 2008, Chisato marumo 발표자료  
 그림 8. JM Energy(社)의 리튬이온 커패시터 (LIC)의 특성 및 응용 예.

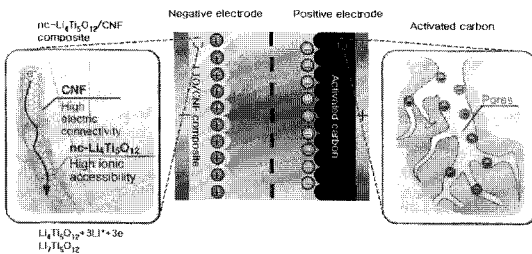


그림 9. Nano hybrid capacitor 원리 및 구조.

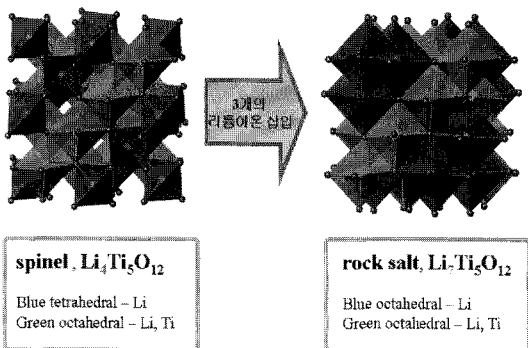


그림 10. 리튬 티타늄계 금속산화물 (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)의 구조 및 충·방전 메커니즘.

향상시키기 위하여 ESR를 최소화 기술 개발 제품으로 Nippon chemical-con.에서 신개념 하이브리드 커패시터제품을 발표하였다. 그림 10은 리튬 티타늄계 금속산화물 (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)의 구조 및 충·방전 메커니즘으로서 이론 용량이 175 mAh/g로 다른 음극소재 대비 작고 소재 자체의 저항이 높은 단점이 있지만, 소재 자체를 나노화 및 전기도도가 우수한 소재와 복합화 함으로써 단점을 보완하는 많은 연구가 진행되고 있으며 예로서 Carbon nano fiber 또는 Carbon에 도핑하는 방법이 있다.

LTO는 산소 원자들로 조밀하게 충전 되어 있는 8면체 Site의 1/2과 4면체 Site의 1/8 위치에 리튬 원자와 타이타늄 원자들이 랜덤하게 분포되어 있는 구조로서 충전 시에 삽입된 3개의 리튬이온과 4면체에 위치한 리튬이온이 인접한 8면체 자리를 차지하여 충상구조를 이루는 압염 (Rock salt)구조로서 175 mAh/g의 높은 이론 에너지 밀도를 가지고 있다. 리튬이온 탈/삽입 시에 부피변화가 없어, 고속 충/방이 가능하고, 5만회 이상의 긴 사이클 반복 특성을 가지므로 자동차용 및 대용량 에너지 저장 장치에 적합한 차세대 음극 전극 활물질로 유망하다.

## 5. 에너지 저장 장치로서의 Super capacitor 응용 및 시장 현황

Super capacitor는 순간적으로 많은 에너지를 저장 후 높은 전류를 순간적 혹은 연속적으로 공급함으로써 이차전지 (리튬이차전지, Ni-MH전지, 납축전지)가 수용하지 못하는 출력 특성 영역을 채울 수 있는 고출력 장수명 전기에너지 저장 장치로서 그림 11과 같이 ① 모바일 IT기기, ② 기계·수송, ③ 스마트 그리드 사업군으로 나눌 수 있다.

그림 12는 응용 제품군별 시장 규모로서 대부분의 시장을 모바일 IT 및 전자기기가 차지하고 있지만, 에너지 회생 저장 분야로는 수송 기기인 자동차 및 철도용으로 응용이 확대되고 있다. 수송기기에서는 환경규제의 강화, 연비효율향상규제가 국제적인 이슈로 부각되고 있어, 불필요한 공회전을 방지 Idling stop & Go 시스템은 기존의 차량의 환경규제와 연비

효율 향상을 극대화할 수 있는 중요한 핵심 기술로서 상용버스 및 전철 등과 같이 빈번한 운행/정지가 이루어지는 중대형 수송차 부문에서 일본, 미국, 유럽 등에서 초고용량 커패시터를 사용하여 약 50% 이상의 연비개선 및 20% 이상의 에너지 회수를 보고하고 있다.

최근 한국철도기술연구원 및 우진산전을 중심으로 구성된 콘소시움에서 전철차량에 Super capacitor를 이용한 에너지 저장시스템 적용 후 대전철도 판암역에 설치하여 회생 에너지 저장 및 사용 효율을 평가한 결과, 도시철도 전동차에서 소비되는 에너지를 10 kWh/년을 볼 때 약 25%/년의 에너지 효율 향상을 보고하였다.

전력 안정용 시스템으로서 일본의 Meidan(社)에서는 고전압 Super capacitor의 전압별 전력품질 안정화 시스템을 구축하여 사업화 진행 중에 있으며, 6.6 kV~500 kV급으로 구분하여 시장에 제품을

공급하고 있다. NEDO 과제 지원 하에 5 MW급 태양전지에 NaS 전지와 초고용량 커패시터를 연결하여 전력청에서 33 kV급의 전력 공급 장치 개발 운전 중에 있다. 러시아의 ESMA, ELITE는 전력공장의 전압안정화 장치로 시스템 개발 중이며 미국의 Maxwell(社)은 450 kW 시스템 개발을 통하여 풍력, 수소, 천연가스로 마이크로그리드를 구성하였으며 이에 대한 실증 평가를 진행 중이다. 국내 초고용량 커패시터 산업체는 2010년에 13% 시장 점유율에서 제동에너지 회수 전원장치 성장에 힘입어 2020년에 40% 점유율, 1조원으로 성장 예상된다. 국내 스마트 그리드 분야에서 초고용량 커패시터는 스마트 전력전송 및 스마트 운송 부문에서 활용되고 있으나, 아직은 초기 단계로서 소형 EDLC에 의한 UPS의 제품생산은 이루어지고 있으나, 수백 Voltage 이상의 전압 환경에 적합한 제품은 출시되고 있지 않고 있다. 향후 스마트 그리드 산업이 본격화할 경우 고전압 셀의 수요가 증가할 것으로 예상되며 에너지 저장 장치는 다음과 같은 용도로 활용 될 것이다.

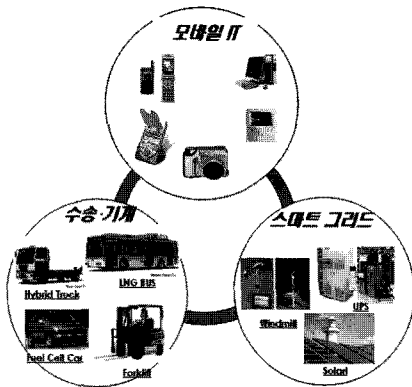


그림 11. Super capacitor 응용 분야.

- ① 스마트 전력전송에서 신재생에너지 분산전원과 안정한 전력망을 위한 Voltage sag 보상 및 에너지 저장 장치로 활용 (그림 13)
- ② 스마트 운송에서의 경전철의 회생제동/가속에 의한 부하평준화 장치로 활용

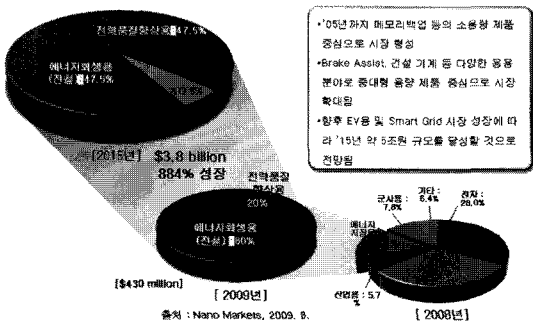


그림 12. Super capacitor 응용 제품군별 시장 규모.

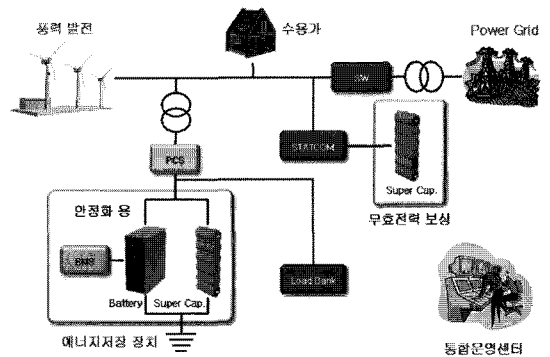


그림 13. 스마트그리드 시스템에서 Super capacitor 적용 예.



## 6. 결론

미래에 고도화된 산업 사회에서 친환경 에너지 관련 산업은 선택이 아닌 필수이다. 특히, 우리나라와 같이 에너지 관련 해외 의존도가 큰 경우 신재생 에너지의 개발과 효율적인 에너지 사용을 위한 기술 확보가 매우 중요하다. Super capacitor는 낮은 내부 저항과 고출력 특성으로 스마트그리드 및 신재생 에너지 분야에 있어 가장 적합한 에너지 저장장치로 파급효과가 매우 크다. 일본의 경우 우수한 소재 기술을 기반으로 정부 주도로 다양한 Super capacitor 제품을 개발하였고, 외부로의 기술 유출을 방지를 하므로 자국 산업을 보호하고 있다. 우리나라의 경우도 아직은 시작단계이지만 최근 친환경에너지에 대한 중요성이 인식되면서, 다양한 소재와 제품 개발이 이루어지고 있다. 하지만, Super capacitor 관련 산업은 소재 및 제품 분만 아니라, 전력/전자 시스템 산업까지 융합이 이루어져야 되므로 관련 산업의 협력과 인프라 구축 없이는 성장률은 미미할 수밖에 없다. 그러나 지속적인 정부차원에서 체계적인 지원과 제품 개발이 이루어진다면, 차세대 친환경 에너지 분야에서 선두주자로 나설 수 있을 것으로 기대해 본다.

## 참고 문헌

- [1] A. G. Pandolfo, A.F.Hollenkamp, J. Power Sources 157 (2006) 11
- [2] B. E. Conway, in Proc. of the Sym. on Electrochemical Capacitors., pp15-49, Chicago, USA(1995)
- [3] N. M. Rodriguez, J. Mater. Res. 8 (1993) 3233
- [4] T. Osaka, X. Liu, M. Nojima, J. power sources 74 (1998) 122
- [5] Yoon Jae Lee, Ji Chul Jung, Jongheop Yi, Sung Hyeon Baek, Jung Rag Yoon and In Kyu Song, Current Applied Physics 10 (2010) 682
- [6] Kibi Y., Saito T., Kurata M., et al., J. Power Sources, 1996, 60 219
- [7] Wei Y. Z., Fang B., Iwasa S., et al., J. Power

Sources, 2005, 141 386

- [8] E. M. Sorensen, S. J. Barry. H. K. Jung, J. M. Rondinelli, J. T. Vaughey, K. R. Poeppelmeier, Chem. Mater. 18 (2006), 482-489.
- [9] Aurelien Du Pasquier, Alexis Laforgue and Partice Simom, J. Power Sources 125 (2004) 95
- [10] Dingshan Yu and Liming Dai, J. phys. chem.Lett, 1(2) (2010) 467
- [11] Glenn G. Amatucci, z Fadwa Badway, Aurelien Du Pasquier, and Tao Zheng, J. Electrochemical Society, 1148 (8) A930-A939 (2001)
- [12] 월간전기기술 2010.10

## 저자약력



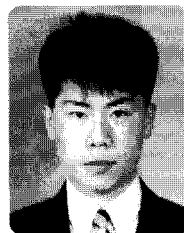
성 명 : 윤중락

◆ 학 력

- 1991년 명지대학교 공과대학 전기공학과 공학사
- 1993년 명지대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 1999년 명지대학교 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1994년 - 1996년 한국쌍신전기(주)선임연구원
- 1996년 - 현재 삼화콘덴서공업(주) 연구소장



성 명 : 이경민

◆ 학 력

- 1995년 상지대학교 자연과학대학 화학과 이학학사
- 1997년 명지대학교 이과대학 화학과 이학석사

◆ 경 력

- 1997년 - 2000년 태일정밀(주) 대리
- 2000년 - 현재 삼화콘덴서공업(주) 팀장