

# 에너지 저장용 탄소소재 산업동향 및 발전방향



정 동 철 | 한국탄소융합기술원 원장  
 이 혜 민 | 한국탄소융합기술원 다기능탄소소재 연구실 연구원  
 김 병 주 | 한국탄소융합기술원 다기능탄소소재 연구실 실장

## 1. 서 론

# 지구의

온난화와 미세먼지, 오존, 질소산화물 등의 환경오염에 대한 관심이 높아지면서, 화석연료에 대한 규제가 강화되고 있다. 유럽의 EURO6, 미국의 LEV3 등의 자동차 배출가스 기준은 점점 강화되고 있으며, 자동차 업계는 이를 대응하고자 내연기관의 성능을 개선 또는 대체 기술을 개발하고 있다. 유럽의 일부국가들은 내연기관차량의 판매를 중단할 검토하고 있으며, 네덜란드와 노르웨이는 2025년, 독일은 2030년, 영국과 프랑스는 2014년 이후부터

내연기관차량의 판매 중단 계획을 발표함에 따라 내연기관을 대체할 에너지 저장기술에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다.

세계는 원자력과 석탄화력 등의 환경오염을 유발하는 생산 방식을 버리고 친환경 신재생에너지의 비중을 높이려고 노력하고 있다. IEA (International Energy Agency)는 2030년까지 원자력 점유율이 10% 감소하고, 신재생에너지는 2022년에 43%까지 증가할 것으로 예측하고 있다. 하지만 신재생에너지의 증가는 스마트그리드(Smart Grid)의 에너지시스템 변화가 요구되며, 전력품질 및 간헐성 문제 해결을 위한 대용량 에너지 저장기술의 개발이 필요하다.

에너지 저장기술은 과거 소형 전자기기에서만 사용되어 왔지만 현재는 소형 IT제품부터 전기자동차, ESS(Energy Storage System)까지 중형·대형으로 지속적으로 용도와 규모가 확장되고 있으며, 경박단소(輕薄短小)를 지향하는 첨단 IT 산업의 에너지 고용량화 수요에 부합하여 지속적인 기술개발이 이루어지고 있다. 현재 상용화된 대표적인 에너지 저장소자는 리튬이온전지와 슈퍼커패시터가 있으며, 두 에너지 저장소자 모두 탄소소재를 이용하여 에너지를 저장한다. 본 기고에서는 에너지 저장용 탄소소재의 국내외 기술 동향에 대해 소개하며, 세계 시장과 향후 기술방향에 대해 소개하고자 한다.



그림 1. 스마트그리드를 적용한 모습 \*출처: 한국스마트그리드사업단

## 2. 탄소소재를 이용한 에너지 저장기술

오래전부터 에너지를 저장하고자 많은 기술이 개발되어 왔다. 바그다드전지부터 시작된 기술은 망간전지, 알칼리전지, 납축전지, 니켈전지에 이어서 리튬이온전지와 슈퍼커패시터로 발달되어 왔다. 리튬이온전지와 슈퍼커패시터는 현재 상용화된 대표적인 에너지 저장소자로 탄소소재에 에너지를 저장하는 공통점이 있지만, 전혀 다른 메커니즘에 의하여 에너지를 저장한다.

리튬이온전지는 리튬이온이 양극과 음극사이를 오가며 전류를 발생시킨다. 양극재에서 형성된 리튬이온은 흑연으로 이루어진 음극재 내부에서 환원되어 화학적인 반응에 의하여 에너지를 저장하게 된다. 슈퍼커패시터는 활성탄소로 이루어진 양극과 음극에 전해액 내의 이온들이 전극 표면에 물리적으로 흡착되어 에너지를 저장하게 된다 [1].

화학적인 산화·환원 반응에 의하여 에너지를 저장하는 리튬이온전지는 흑연결정 사이에서 리튬이온이 저장되기 때문에 에너지밀도가 높아 오늘날 대부분의 에너지 저장소자로 사용되고 있다. 하지만 충·방전과정에서 리튬이온은 흑연결정 사이를 이동하기 때문에 출력이 낮고, 긴 충전시간과, 약 1,000

표 1. 리튬이온전지와 슈퍼커패시터의 특성 비교

구분	리튬이온전지	슈퍼커패시터
충전시간	10~60 min	1~10 sec
에너지밀도 (Wh/kg)	100~200	5
전력밀도 (W/kg)	1,000~3,000	>10,000
충·방전효율	0.7~0.85	>0.95
수명 (Cycle)	500~2,000	>500,000

\*출처: Courtesy of Maxwell Technologies, Inc.

회의 짧은 수명이 큰 단점이다.

반대로 물리적인 흡·탈착 반응에 의하여 에너지를 저장하는 슈퍼커패시터는 전극의 표면에서만 이온이 저장되기 때문에 리튬이온전지보다 에너지밀도가 낮아 주 전원으로 사용되기는 어렵지만, 높은 출력과 10만회 이상의 반영구적인 수명을 장점으로 에너지 시스템의 보조 전원 장치로 사용되고 있다 [2].

이렇듯 다른 에너지 저장 메커니즘에 의하여 많은 에너지 저장이 요구되는 시스템에는 리튬이온전지가 사용되며, 높은 출력을 요하거나 충·방전이 잦은 전력이 불안정한 시스템에는 슈퍼커패시터가 리튬이온전지를 보조하여 함께 사용되고 있다.

## 3. 국내외 기술 현황

리튬이온전지는 리튬을 포함한 금속 산화물로 구성된 양극과 탄소계열의 물질로 구성된 음극, 그 사이에 음극과 양극의 단락을 방지하는 다공성 멤브레인인 분리막과 리튬이온의 전달을 담당하는 전해액으로 구성되어 있다. 이중 리튬이온이 저장되는 음극은 전지의 성능을 결정하기 때문에 매우 중요하다.

리튬이온전지의 음극활물질은 인조흑연계, 천연흑연계, 저결정성 탄소계 및 금속계 등으로 구분되어 있다. 이중 인조흑연은 2,500°C이상의 고열에서 흑연의 고결정 구조를 만들기 때문에 천연흑연보다 조직이 안정적이고 수명이 2~3배 정도 우수하다. 저결정성 탄소는 결정구조가 안정화되어 있지 않기 때문에 수명은 짧으나 리튬이온의 출입이 빨라 고속 방전에 유리한 특성을 지니고 있다. 리튬이온전지의 판매가격의 하락에 의하여 고가의 인조흑연과 저렴한 천연흑연을 혼합하여 사

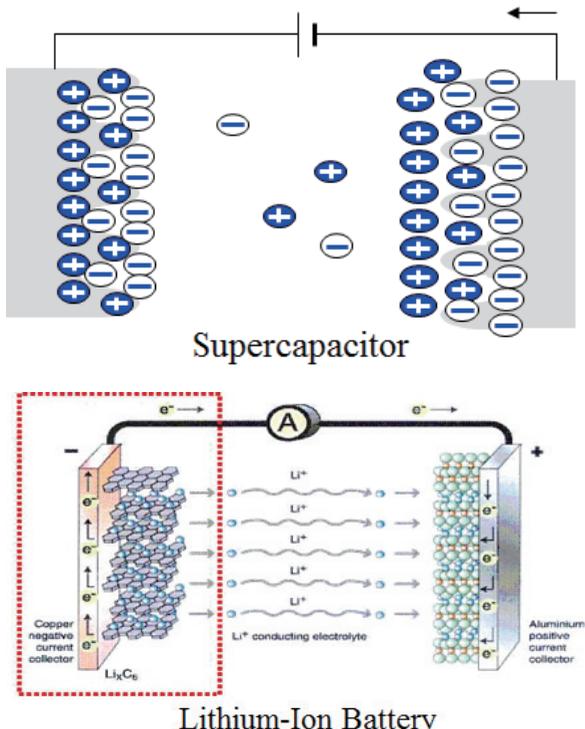


그림 2. 리튬이온전지와 슈퍼커패시터의 에너지 저장 메커니즘

표 2. 음극활물질 종류 및 특징

구분	인조흑연	천연흑연	저결정탄소	금속
구조				
용량*	280~360	360~370	235~315	700~1,000
표면적**	1 이하	3~8	2~5	-
수명	높음	낮음	중간	매우 낮음
가격	> 15 \$/kg	10 \$/kg	12 \$/kg	> 60 \$/kg
국내업체	포스코켄텍	애경유화	GS칼텍스	-
해외업체	히타치화학 JFE Chemical	Shanghai Shanshan BTR Energy	Nippon Carbon JFE Chemical	3M Mitsui

\*출처: Argonne National Laboratory(2011.11)

용하는 추세이나, 전기자동차용에서는 성능 향상에 유리한 인조 흑연의 사용이 확대되고 있다 [3].

리튬이온전지는 일본의 기술에 많이 의존하였지만, 많은 연구개발을 통하여 41% 국산화가 이루어졌으나, 4대소재 (양극, 음극, 분리막, 전해액) 중 음극의 국산화율은 1%로 매우 낮다. 음극재는 전통적인 탄소산업의 강국으로 열처리 기술이 우수한 일본과 광물자원이 풍부한 중국이 각각 인조흑연과 천연흑연 시장을 주도하고 있다 [4].

슈퍼커패시터는 전해질에 따라 수용성과 유기성으로 구분되며, 수용성 전해질의 경우 출력 특성은 높지만 1 V 정도의 작동 전압으로 인하여 에너지 밀도가 낮은 단점이 있다. 유기성 슈퍼커패시터는 Electric Double Layer Capacitor (EDLC) 로도 불리며 저항특성은 다소 불리하지만, 2.3~3V의 작동전압을 갖고 있어 수용성 커패시터 대비 에너지밀도가 높아, 상용화된 슈퍼커패시터는 EDLC가 사용되고 있다.

슈퍼커패시터는 양극과 음극으로 구성하는 다공성 전극, 전해질, 분리막으로 이루어져 있다. 슈퍼커패시터의 전극용 탄소 재료로는 활성탄소, 활성탄소섬유, 유리질 탄소, 탄소 에어로젤 등이 있지만, 저렴한 가격과 높은 충전 밀도로 인하여 활성탄소가 사용되고 있다 [5].

슈퍼커패시터용 활성탄소는 높은 에너지밀도를 위하여 1,500~2,300 m<sup>2</sup>/g의 비표면적과 긴 수명을 위하여 매우 낮은 불순물 함량의 특성이 요구된다. 일반 활성탄은 목질계, 코코넛, 석탄 등의 전구체를 사용하여 물리적 활성화하여 제조되지만, 슈퍼커패

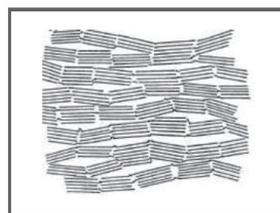
시터용 활성탄소는 코코넛, 폐놀, 코크스 등의 전구체를 물리적 또는 화학적 활성화를 하여 제조된다 [6].

활성탄소의 제조방법은 물리적 활성화와 화학적 활성화 방법이 있다. 물리적 활성화는 800°C이상의 고온에서 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 등의 기체를 이용하여 하드카본 전구체의 산화를 통한 기공을 형성하여 활성탄소가 제조된다. 화학적 활성화는 산, 염기 또는 금속염 등을 전

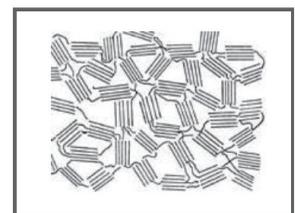
구체와 혼합한 후 600°C이상의 고온에서 탈수반응에 의하여 기공이 형성되어 활성탄소가 제조된다. 이때 화학적 활성화 방법은 하드카본과 소프트카본 모든 계열의 탄소전구체가 적용 가능하다. 화학적 활성화는 높은 활성화제 비용과 복잡한 공정으로 인하여 높은 공정비용이 단점이지만, 물리적 활성화보다 높은 비표면적과 균일한 기공특성이 가장 큰 장점이다. 따라서 슈퍼커패시터용 활성탄소는 대부분 KOH 화학적 활성화 방법에 의하여 제조되지만, 일부 저품위 활성탄소의 경우 H<sub>2</sub>O 물리적 활성화 방법에 의하여 제조된다 [7].

슈퍼커패시터용 활성탄소는 리튬이온전지의 음극재와 동일하게 일본이 시장을 주도하고 있으며, 2009년 국내에 Power carbon technology가 설립되어 생산하고 있지만 현재까지는 많은 양을 수입에 의존하고 있다.

한국탄소융합기술원은 비폐놀계 고분자를 물리적 활성화법을 이용하여 고품위 슈퍼커패시터용 활성탄소를 제조하였다. 일반적으로 물리적 활성화법(수증기부활법)으로 고품위 활성탄의 제조는 불가능하다고 알려져 있다. 하지만 한국탄



Soft Carbon (Anisotropic Carbon)



Hard Carbon (Isotropic Carbon)

그림 3. 활성탄소 전구체의 종류

표 3. 슈퍼커패시터용 활성탄소의 전구체 및 제조방법에 따른 특징

원료	활성화 공정	단가(비표면적)	기타사항
 야자각 (<1,000원/kg)	H <sub>2</sub> O활성화	18,000~ 20,000원/kg (~1,800m <sup>2</sup> /g)	회분제어필요 저품위 (80~100F/g)
 페놀수지 (>8,000원/kg)	H <sub>2</sub> O활성화	40,000~ 50,000원/kg (1300~1,800m <sup>2</sup> /g)	중가격, 공정제어난해 중품위 (90~110F/g)
	KOH활성화	70,000~ 100,000원/kg (1800~2,200m <sup>2</sup> /g)	고가격, 고순도 고품위 (110~130F/g)
 코크스 (>2,000원/kg)	KOH활성화	50,000~ 80,000원/kg (~2,100m <sup>2</sup> /g)	고가격 고품위 (120~150F/g)
 비페놀계 고분자 (<1,500원/kg)	H <sub>2</sub> O활성화	25,000~ 30,000원/kg (1700~2,300m <sup>2</sup> /g)	저가격, 고순도 고품위 (120~140F/g)

소용합기술원 국제탄소연구소에서는 고분자 전구체의 결정 구조 제어 기술을 바탕으로 화학적 활성화법(약품부활법) 기반의 상용 고품위 활성탄인 MSP-20 (Kansai Cokes, 일본)과 성능면에서 동등 및 다소 우위이며 (비표면적 2,300m<sup>2</sup>/g, 비용량 134 F/g 이상) 가격 경쟁력은 2배 이상인 슈퍼커패시터용 고품위 활성탄소를 제조하였다.

### 4. 국내의 시장 동향

리튬이온전지 시장은 과거 세계시장을 독점했던 일본을 제

치고, 2011년 이후 대한민국이 점유율 1위를 유지하고 있다. 최근 중국의 기업들이 자국 산업을 기반으로 점유율이 가파르게 상승하며 시장을 위협하고 있지만, 안전성 및 신뢰성 등의 문제로 인하여 국제 시장의 진출은 어려움을 겪고 있다.

리튬이온전지는 높은 에너지밀도 특성에 의하여 생활 곳곳에서 너무나도 쉽게 발견할 수 있는 일상적인 제품이 되었다. 핸드폰의 소형 IT기기, 대용량의 하이브리드, 전기자동차와 같은 수송수단의 대용량, 산업용 에너지 저장장치(ESS)에 이르는 초대형과 의학용 기기까지 적용을 넓혀가고 있다. 특히 미국, 중국, 유럽이 주도하는 전 세계적인 CO2 배출가스 규제 및 연비규제로 인하여 전기자동차의 시장 공급은 많은 자동차 기업들의 선택적 사항이 아닌 의

무적인 보급으로 변화하고 있으며, 가장 큰 변화를 일으킬 것으로 예상된다.

닛케이신문은 리튬이온전지 시장을 2025년 기준 약 40조원 규모로 성장할 것으로 예상하였으나, 전기자동차 시장의 급속한 변화로 더 빠른 성장이 예상된다. 2017년에 영국의 생활가전 업체인 다이슨은 3조원의 투자를 바탕으로 2020년부터 전지를 동력을 하는 전기자동차를 생산계획을 발표하였으며, 폭스바겐은 2030년까지 모든 차종에서 전기자동차를 출시를 계획하고 있으며, 메르세데스-벤츠는 2022년까지 모든 모델의 전기자동차나 하이브리드 버전을 제공할 계획 중에 있다.

세계 리튬이온전지 대표기업인 파나소닉, 삼성SDI, LG화학은 전기자동차 시장을 위하여 생산규모의 확대 계획 중에 있으며, 일본의 파나소닉은 1000억 엔을 투자하여 전지 생산규모를 2배 이상 확대 계획을 갖고 있고, 삼성 SDI와 LG화학은 유럽에 전기자동차용 전지 생산을 목적으로 공장을 신축하고 있다.

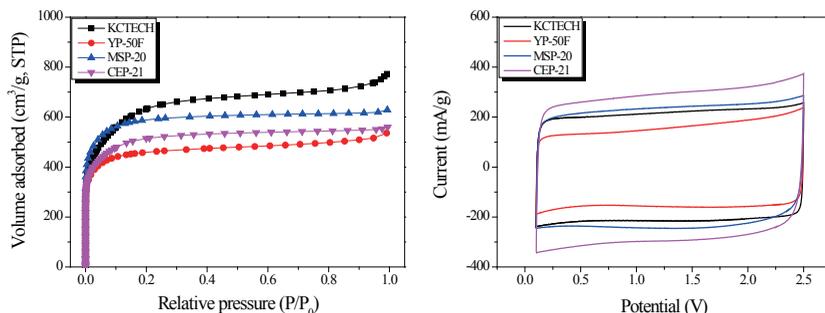
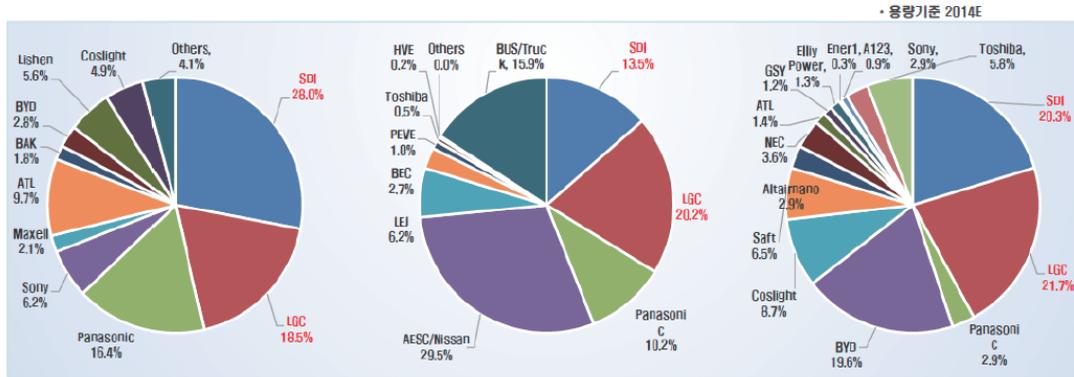


그림 4. 슈퍼커패시터용 활성탄소의 기공특성 및 전기화학적 특성

주요기업 LIB 시장 점유율 (Mobile-IT용) / (xEV용) / (ESS,UPS용)



출처 : B3 (2014)

그림 5. 주요기업 리튬이온전지 시장 점유율 (Mobile-IT용)/(EV용)/(ESS,UPS용)

표 4. 전세계 전기자동차용 배터리 출하량

(단위: MWh)

순위	제조사명	2016 상반기	2017 상반기	성장률	2017 점유율	2016 점유율
1	Panasonic	3,179.7	4,446.9	39.9%	27.9%	23.5%
2	LG화학	755.6	1,968.8	160.6%	12.3%	5.6%
3	BYD	1,679.1	1,465.8	-12.7%	9.2%	12.4%
4	CATL	1,433.9	1,245.2	-13.2%	7.8%	10.6%
5	삼성SDI	533.8	1,028.6	92.7%	6.4%	3.9%
6	PEVE	848.9	906.7	6.8%	5.7%	6.3%
7	AESC	972.4	898.8	-7.6%	5.6%	7.2%
8	Farasis	0.3	507.9	165866.6%	3.2%	0.0%
9	BAK	184.5	373.3	102.3%	2.3%	1.4%
10	Coslight	38.6	332.7	761.5%	2.1%	0.3%
	Others	3,926.5	2,774.8	-29.3%	17.4%	29.0%
	합계	13,553.4	15,949.3	17.7%	100.0%	100.0%

\*SNE리서치 2017년8월

< 금액 >

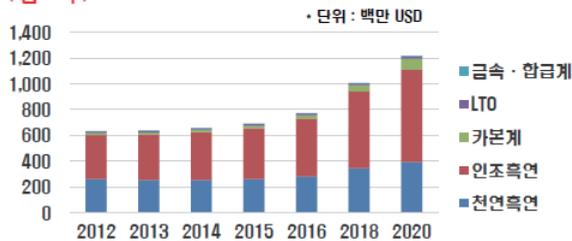


그림 6. 리튬이온전지 시장시장 전망

슈퍼커패시터는 2차전지보다 100배 이상의 고출력이며, 반영구적인 특성으로 인하여 메인 전원보다는 피크파워 보조, 회생제동, 백업전원, 전력품질 안정화 등 목적의 보조전원으로

로 다양한 응용분야를 갖고 있다.

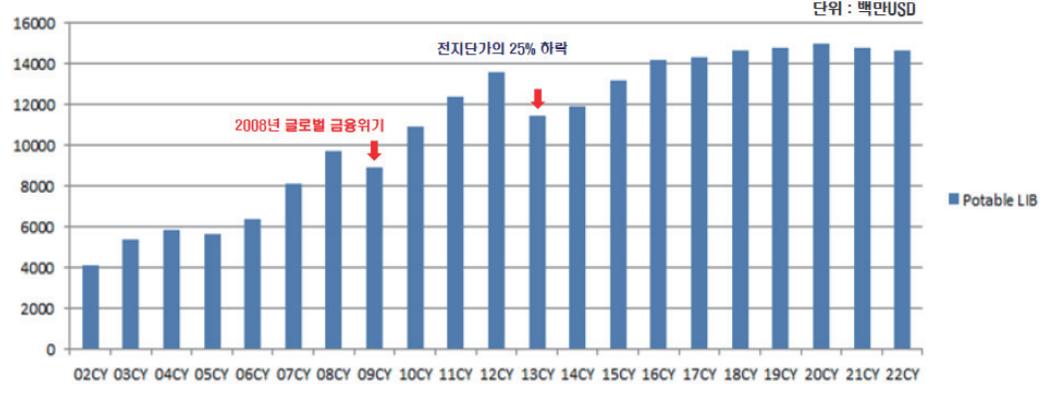
예를 들면 2차전지는 에너지 밀도가 높아 상시 전원으로 많이 사용되지만 출력이 낮기 때문에 피크 전력이 필요한 경우 슈퍼커패시터로부터 전력을 공급받아 2차전지 등의 타 전원장치의 부하나 크기를 줄일 수 있다.

더불어 자동차, 전기자동차 등의 제동 시 소모되는 운동 에너지를 회생제동장치를 통하여 전력으로 전환하여 에너지 재생을 가능하게 해준다. 순간적으로 발생하는 회생제동에너지와 잦은 제동이 이루어

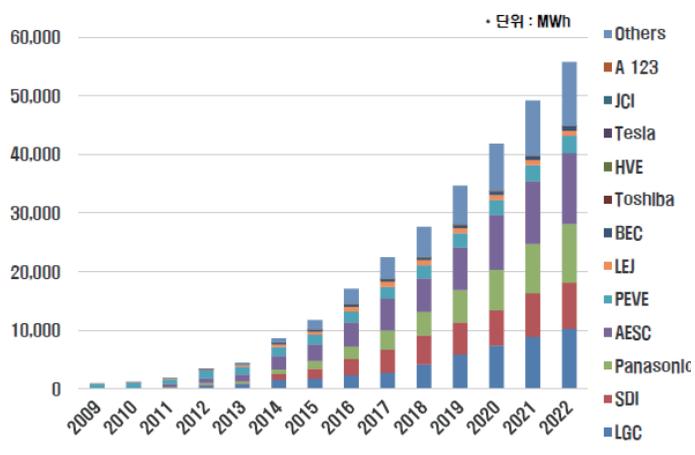
지는 전기운동장치들은 슈퍼커패시터의 빠른 충전 속도를 통하여 에너지를 재생하고, 반영구적으로 사용이 가능하다. 회생제동 장치는 자동차는 약 10%, 버스와 트럭의 약 25%의 연비향상의 결과를 얻을 수 있으며, 한국철도연구원은 2009년 중전철에 가능한 기술을 세계최초로 개발하여 20% 이상의 에너지 절감효과를 얻었으며, 현재 도시철도에 적용하고 있다.

전력은 여러 가지 이유에 의하여 전압의 강하 또는 정전이 발생할 수 있다. 정전의 순간 비상발전기 또는 상전 전원으로 전력이 복구되는 시간까지 보통 1~30초 사이의 간격이 발생

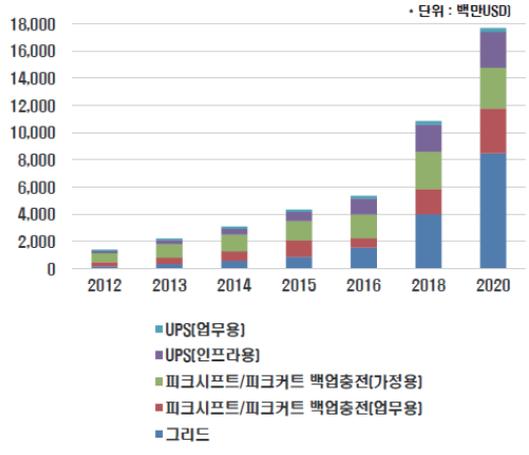
소형 LIB 시장규모 전망 (금액)



기업별 전기자동차용 LIB 시장 수요 추이 및 전망 (용량)



ESS LIB 시장 규모 전망 (금액)



출처 : B3 (2014)

그림 7. 리튬이온전지 시장시장 전망

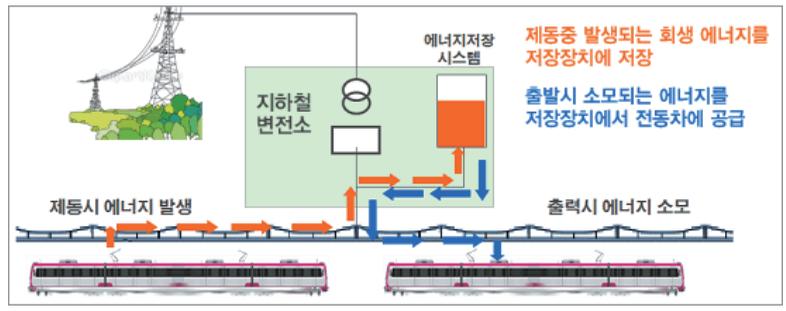


그림 8. 전동차의 회생제동장치

출처 : 서울메트로

하기에 많은 피해가 발생할 수 있다. 이런 상황에서 슈퍼커패시터를 응용한 UPS(무정전 전원공급장치)는 전력이 끊어질 위기에 순간적으로 높은 출력으로 전력을 연결하여 정전으로

인한 피해 발생을 예방할 수 있다.

신재생에너지는 환경과 시간에 따라 생산되는 전력량이 불균일하여 그리드(Grid)의 전력 품질 저하를 가져올 수 있어 사용이 매우 어렵다. 이때 급속 충전이 가능한 슈퍼커패시터를 이용한 부하평준화(Load leveling) 장치는 주파수와 전압을 제어하여 전력을 안정화하고 전력품질의 저하를 방지하기 때문에, 신재생에너지를

활용하기 위해서는 슈퍼커패시터가 필수적이다 [8].

슈퍼커패시터는 스마트폰, 디지털카메라, 오디오 등 각종 전자제품의 메모리 백업용으로 사용되고 있으며, 산업용, 조

초고용량 커패시터의 적용기술 및 용도

사례	전력회생	전력안정화	
		전압저하·정전보상	단주기 출력변동 평준화
파형			
적용	감속 에너지를 전기 에너지(전력회생) 로서 축전, 가속시에 assist로 이용	낙뢰 등에서 발생하는 순시 전압저하 (순시정전을 커패시터에서 보상)	재생에너지의 불안정한 단주기 출력을 커패시터로 평준화
특징	50% 이상 연비 개선 25% 이상 전력손실 저감	사회적, 경제적 손실 방지 (수조원/년간)	고출력, 10년 이상 장기 신뢰성
용도	▶ 상용차 ▶ 전철, 지하철 ▶ 크레인, 건설기계	▶ 순시 전압저하 보상장치 ▶ UPS	▶ 풍력, 태양광 발전시스템 ▶ 피크 이동

그림 9. 슈퍼커패시터의 적용기술 및 용도 (8)

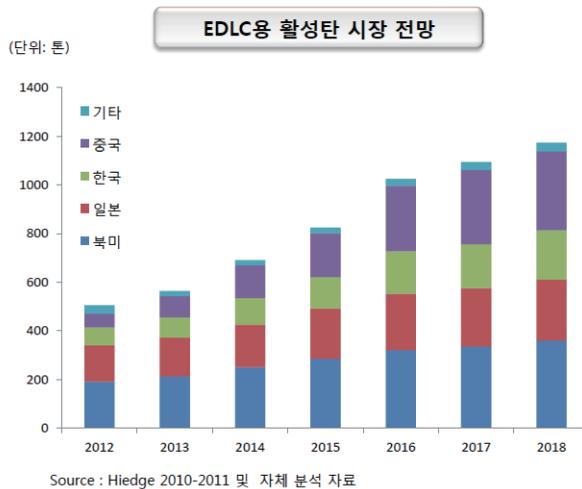


그림 10. 슈퍼커패시터용 활성탄 시장 전망

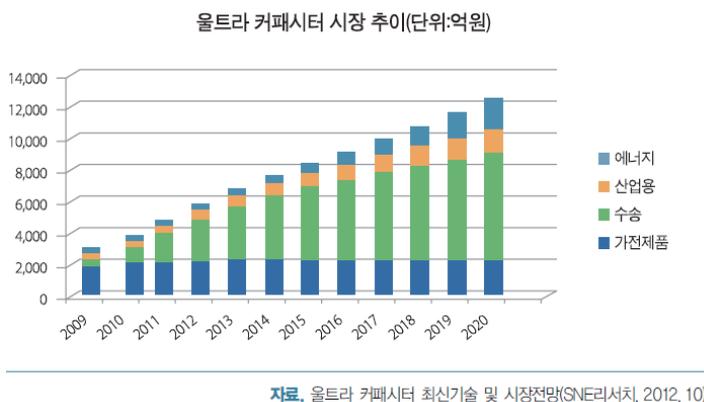


그림 11. 슈퍼커패시터의 시장 전망

명용 기기는 물론 자동차용으로도 용도 확대되고 있다. 핸드폰 용 칩 형태의 제품이 개발되어 시장의 수요가 증가되고 있

며, 중·대형 제품은 회생제동, 무정전 전원장치(UPS), 분산 발전 전원 등으로 사용되고 있으며, 특히 신재생에너지의 전압 레벨링을 위한 부하평준화 장치로 사용영역을 확대하고 있어 시장성이 매우 밝은 영역으로 전망되고 있다.

슈퍼커패시터는 2009년 3,022억 원에서 연평균 13.8%씩 성장하여, 2020년 1조 2,000원을 넘어설 것으로 전망되고 있다. 현재는 가정용 전자기기 분야가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 산업과 수송분야의 시장 확대로 대용량 슈퍼커패시터의 시장이 계속 성장할 것으로 전망된다. 특히 에너지 분야에서 신재생에너지는 슈퍼커패시터에 의한 출력 안정화 기능이 필요하기 때문에, 최근 신재생에너지의 급격한 성장은 슈퍼커패시터 시장의 성장을 가속화할 것으로 기대되고 있다 [9].

## 5. 결 론

본 기고에서는 탄소소재를 이용한 에너지 저장기술에 국내외 기술 동향 및 시장 동향에 대해 소개하였다. 에너지 저장 기술은 화석연료와 원자력의 축소와 더불어 전기자동차, 에너지 저장 시스템, 신재생에너지에 사회적인 관심과 기술개발이 집중되면서 산업 전반에 에너지 저장기술이 적용되고 있어, 빠른 속도로 성장할 것으로 기대된다. 한국의 기업들은 높은 기술력, 안전성, 신뢰성을 바탕으로 세계시장을 이끌어가고 있지만, 에너지 저장소재의 핵심 소재인 리튬이온전지의 음극재와 슈퍼커패시터용 활성탄은 전량 수입에 의존하고 있기에 향후 소재의 공급 안정성 및 가격 경쟁력이 많이 우려되고 있다. 이를 위해 탄소소재에 대한 기술 확보가 필요하며, 성능 향상을 위한 신소재에 대한 연구개발이 필요하다. 또한 정부차원의 전략수립과 정책적 지원을 통하여 앞

로도 세계 에너지 시장을 이끌 수 있도록 준비 할 시점이라 판단된다.

로도 세계 에너지 시장을 이끌 수 있도록 준비 할 시점이라 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Naoki Nitta, Feixiang Wu, Jung Tae Lee, Gleb Yushin, "Li-ion battery materials: present and future", *Materials Today*, 2015.18, p.252.
- [2] Soheila Faraji, Farid Nasir Ani, "The development of supercapacitor from activated carbon by electroless plating—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015.42, p.823.
- [3] 송민규, 2012, 리튬이온전지 소재기술 동향 분석 및 전망, KDB산업은행.
- [4] 손현노, 2016, 전북 이차전지 산업동향과 육성전략, 2016 이슈앤티크.
- [5] 박종규, 배영철, 2013, 슈퍼커패시터 (Supercapacitor) 기술 및 정보분석, 한국과학기술정보연구원 정보분석 연구소.
- [6] Jung-Ae Kim, In-Soo Park, Ji-Hye Seo, Jung-Joon Lee, "A Development of High Power Activated Carbon Using the KOH Activation of Soft Carbon Series Cokes", *Transactions on electrical and electronic materials*, 2014.15, p.81.
- [7] Hye-Min Lee, Hyo-Rang Kang, Kay-Hyeok An, Hong-Gun Kim, Byung-Joo Kim, "Comparative studies of porous carbon nanofibers by various activation methods", *Carbon Letters*, 2013.14, p.180.
- [8] 그린에너지 전략 로드맵 2011 에너지저장, 한국에너지 기술평가원.
- [9] 전황수, 유인규, 고순주, 2014, 에너지 저장장치의 총아: Supercapacitor, 한국전자통신연구원.