R&BD 연계형 기술찾기 사업

Tech-BM
- 나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술 -

㈜이디리서치

CONTENTS

01 사업화 기술 개요

02 시장 환경 분석

03 BM 설계

01 사업화 기술 개요

1. 대상 기술 개요
2. 종래 기술 비교
3. 기술 특장점
4. 개발 현황
5. 대상기술 응용분야

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(1/8)

기술 개요

연구기관 및 기술명

- 연구기관 : 한국과학기술원(KAIST)
- 연구자 : 신소재공학과 김도경 교수
- 기술명 : 나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술

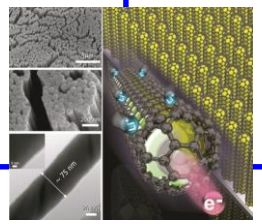
기술 개발 배경

- 최근 전기자동차와 대용량 에너지 저장 장치가 개발됨에 따라, **높은 용량을 갖는 이차전지에 대한 요구**가 높아지고 있음
- 현재 이차전지 시장은 대부분의 휴대 기기에 적용되고 있는 리튬이온 전지가 지배하고 있지만 전기자동차 등에 **고용량 전지로 적용되기에는 용량과 에너지 밀도가 다소 부족함**
- 한 번의 충전 만으로 400~500km 이상 주행할 수 있는 전기자동차 등 **높은 에너지 밀도를 갖는 배터리 시스템이 요구됨**

응용 분야

- **이차전지**(삼성SDI, LG화학, SK이노베이션. 한국파워셀, LS산전, 엘앤에프, 에코프로비엠)
- **전기자동차**(도요타, 폭스바겐, 다임러, BMW, 현대자동차, 파나소닉, CATL, BYD, LG화학, 삼성SDI, Optimum)
- **에너지저장장치**(삼성SDI, LG화학, SK이노베이션, 한국파워셀, LS산전)
- **무인항공기**(3DR, Parrot, DJI, Aeryon, Amazon, 대한항공, LIG넥스원, 휴인스, 퍼스텍)

전기자동차



이차전지

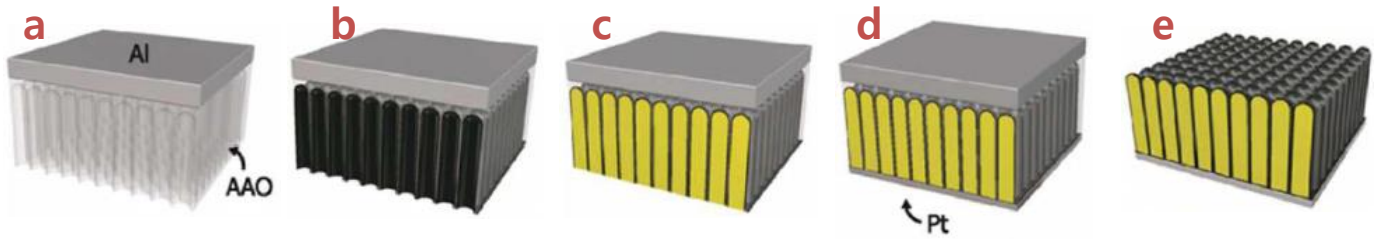
에너지저장장치

무인항공기

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(2/8)

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술 개요

- 나노 구조 설계를 통한 고용량 리튬 이차전지용 양극소재 제조 기술로 **이차전지의 용량 및 수명 특성 향상과 원가를 절감**할 수 있는 기술
- 산화알루미늄 템플릿을 이용하여 탄소 코팅된 황 나노선을 제조하여 이를 리튬-황 이차전지용 양극으로 사용함으로써 **빠른 충방전**을 가능하게 하고, 폴리설파이드(polysulfide)의 용해와 충방전시 생기는 **부피 변화의 영향을 최소화** 시키는 구조의 **리튬-황 이차전지용 기술**



[그림] 리튬 황 이차전지용 양극소재 제조 방법

a : 양극산화 과정을 거치면, 금속층의 구성 물질이 전해질 내로 용해되는 동시에 금속 층상에 형성된 자연 산화막의 두께가 증가할 수 있고, 산화알루미늄 템플릿은 균일하면서도 규칙적으로 배열된 기공을 가지고 있으며, 이후 공정을 통해 황 나노선의 주형(템플릿)의 역할을 함

b : 화학기상증착법(CVD)을 이용하여 반응로 내부에 반응 소스로서 탄소원을 캐리어 가스와 함께 흘려 보내며, 적절한 온도(약 400℃ 내지 약 1000℃)의 범위내에서 상기 기공의 표면내에 탄소원이 화학반응에 의해 탄소 코팅으로 이루어지도록 증착시킴

c : 기공에 용융된 황이 진공 또는 감압분위기에서 채워짐으로써, 이후 공정에서 산화알루미늄이 제거되면 탄소 코팅된 황 나노선을 얻어 수 있음

d : 접합을 위해 산화알루미늄 템플릿의 황이 채워진 기공면 또는 집전체에 에폭시 성분을 포함하는 Ag 페이스트를 도포하여 접착함

e : 산화알루미늄은 염기성 수용액인 수산화나트륨 또는 수산화칼륨 수용액(0.5M 내지 8M 농도)을 처리함으로써 모든 산화알루미늄 성분이 제거되어, 탄소 코팅된 황 나노선만이 집전체에 부착된 형태로 양극이 형성됨

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(3/8)

기존 이차전지 기술과의 차이점

기존 이차전지 기술 문제점

- 리튬 이차전지는 음극에 비해 낮은 양극 재료의 용량으로 인해 고에너지 밀도를 나타내기 힘들며 자동차 등에 사용되기에는 무리가 있음(기존 리튬이온배터리의 에너지 밀도는 400 Wh/kg 부근에서 한계를 가짐)
- 전해액에 용해된 폴리설파이드는 음극의 리튬과 반응하고, 양극으로 이동하여 전해액에 용해되지 않는 Li_2S를 형성하여 낮은 전기전도도와 리튬 표면을 막아 전기화학반응을 방해하게 됨
- 계속적인 폴리설파이드의 용해는 양극재료의 지속적인 감소로, 전지가 충방전이 계속 될수록 용량감소의 원인이 됨

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술

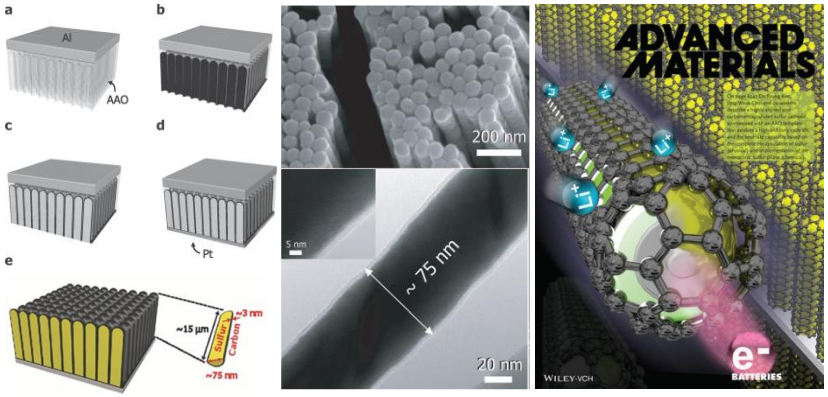
- 모노클리닉 설퍼(monoclinic sulfur)를 사용하여 폴리설파이드의 형성을 최소화 시키면서 전해질과의 직접 접촉을 막을 수 있는 **탄소막을 포함하는 황 나노선(나노막대)을 전극재료**로서 이용함으로써, 빠른 충방전이 가능하게 하며, 충방전시 생기는 **부피변화의 영향을 최소화** 시키는 구조를 가지는 리튬 황 이차전지용 전극 재료를 제공함
- 리튬-황 이차전지용 양극은 **바인더를 사용하지 않고 본 발명에 의해 제조된 전극재료를 집전체에 직접 접착**하므로써 바인더에 의한 전기 전도도 감소 및 이에 따른 용량 감소를 사전에 제거할 수 있으며, **잘 정렬된 일차원 구조체**를 통해 전자의 이동을 원활히 하여 **높은 충방전 속도에서 고효율**을 나타낼 수 있음

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(4/8)

본 기술의 특장점(전기전도도, 수명)

❖ 나노 구조 설계 (다공성 탄소 구조체 설계를 통한 전기 전도도 및 수명 특성의 향상)

- 균일하게 정렬된 탄소나노튜브 내부(지름 75nm, 외벽 두께 3nm)에 황이 함침된 형태
- 황에 전기전도도를 효과적으로 부여하고 중간상이 외부로 녹아 나가는 것을 차단
- **0.5C**의 빠른 충방전 속도에서도 **1,500mAh/g** 이상의 이론용량에 가까운 초기 용량(당시 세계 최고)을 구현하며, 150회의 충방전 이후 **99.2% 유지**(리튬 이온 배터리의 이론 용량은 200mAh/g 내외)
- **5C**의 초고속 충방전 조건에서 1000회의 충방전 이후에도 **1,000mAh/g** 이상의 용량 유지



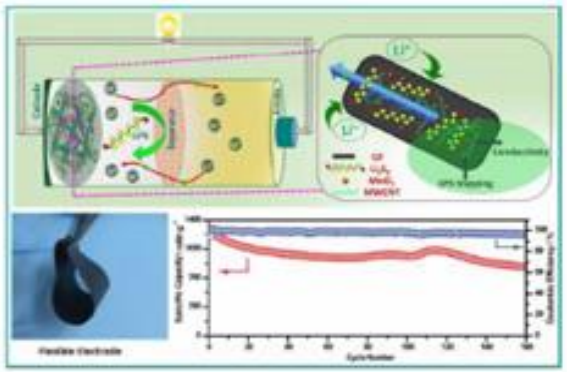
[그림] 음극산화알루미늄(AAO) 템플릿을 활용한 정렬된 탄소나노튜브 구조체

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(5/8)

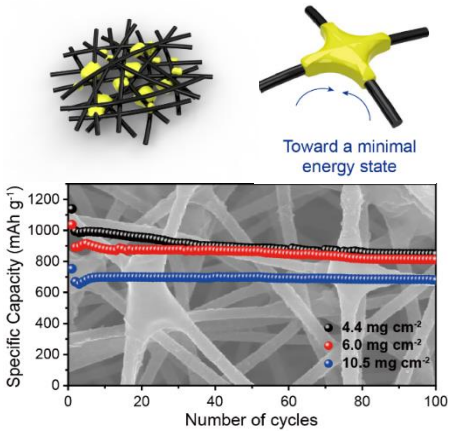
본 기술의 특장점(전기전도도, 수명)

❖ 나노 구조 설계 (다공성 탄소 구조체 설계를 통한 전기 전도도 및 수명 특성의 향상)

- 유리섬유와 탄소나노튜브, 이산화망간 입자를 자가 조립(self-assembly)하여 만든 친환경 유연 전극
  - **5mg/cm²**의 고(高) 황함량 전극으로 1,210 mAh/g의 높은 가역 용량 구현
  - 100사이클 후 **970mAh/g**으로 유지
- 전기방사와 열처리를 통해 얻은 탄소나노섬유에 황을 함침
  - **10.5mg/cm²**의 매우 높은 황 함량을 갖는 전극으로 **800mAh/g** 내외의 높은 가역 용량 구현
  - 실용화를 위해 중요한 **면적당 용량** 값을 **7.9mAh/cm²** 까지 기록함(기존 리튬이온 배터리는 **4mAh/cm²** 이하)



[그림] 유리섬유를 이용한 플렉서블 전극



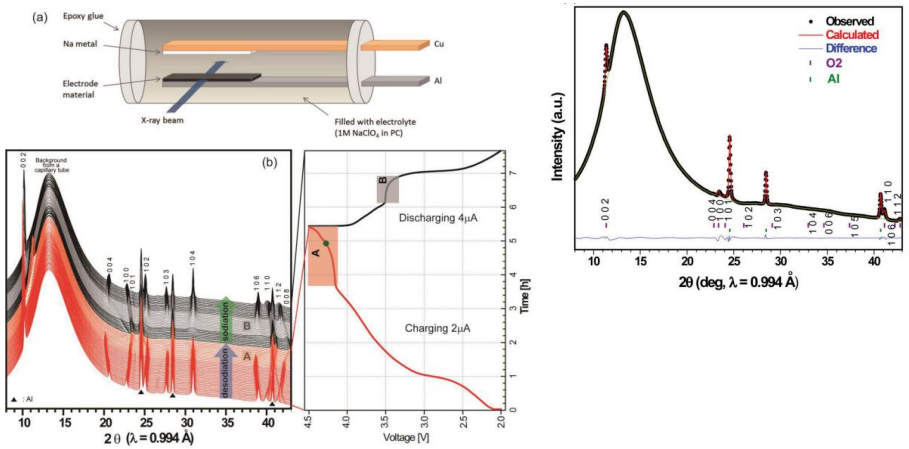
[그림] 탄소나노섬유를 이용한 고용량 황 전극

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(6/8)

본 기술의 특장점(나노구조)

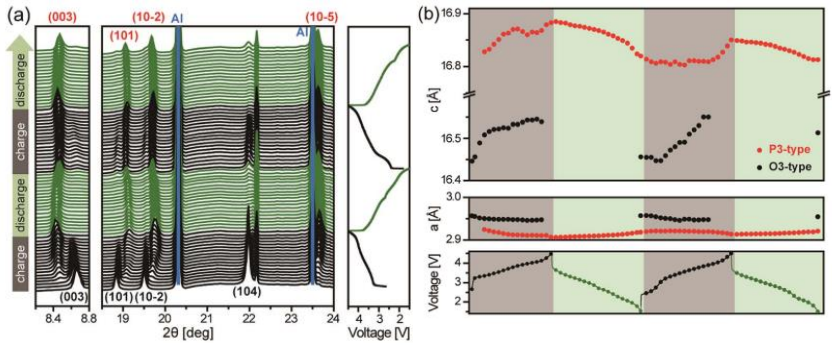
❖ 나노 구조 분석 (실시간 분석을 통한 결정 구조 변화의 해석)

- **In-situ X-ray 분석** : Na의 삽입/탈리 반응이 야기하는 전극 재료의 **결정구조 변화**를 Synchrotron을 이용하여 실시간으로 분석
- **Rietveld refinement** 를 통해 결정 구조를 이루는 parameter 들의 변화를 분석



Y. H. Jung et al., *Adv. Funct. Mater.* (2015)

[그림] $Na_{0.7}Fe_{0.4}Mn_{0.4}Co_{0.2}O_2$ 재료의 P2↔O2 구조 변화 분석



J. E. Wang et al., *J. Mater. Chem. A* (2018)

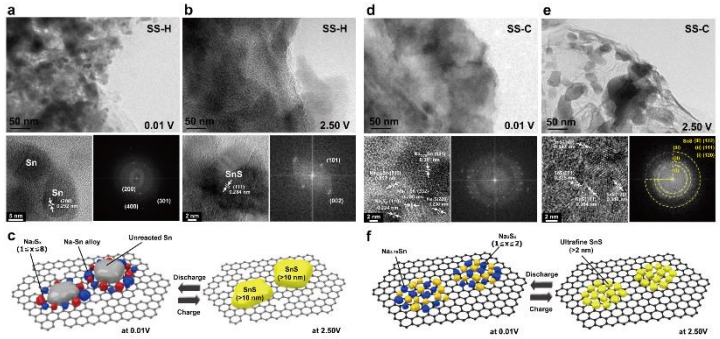
[그림] $Na_x[Fe_yMn_{1-y}]O_2$ 재료의 O3↔P2 구조 변화 분석

나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(7/8)

본 기술의 특장점(나노구조)

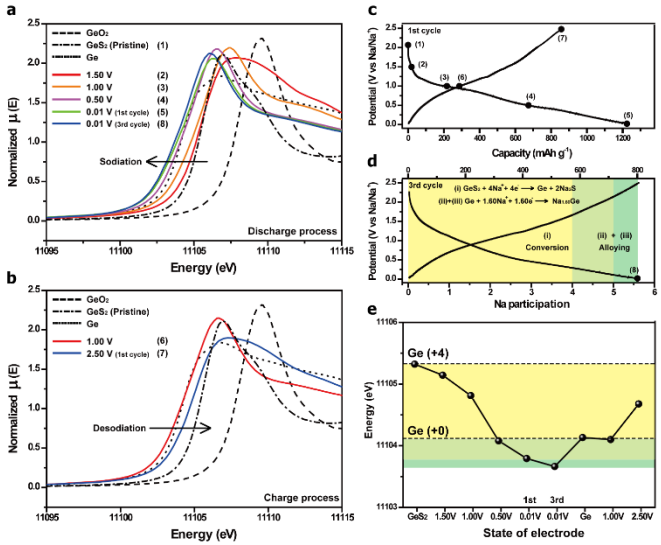
❖ 나노 구조 분석 (실시간 분석을 통한 결정 구조 변화의 해석)

- **TEM, XRD분석** : Na과의 반응이 야기하는 전극 재료의 **형상 변화 및 결정구조 변화** 분석
- **Synchrotron**을 이용한 **ex-situ XANES 분석**을 통해 전극 재료의 **산화/환원 상태** 분석



J-H. Kim et al., *Small* (2017)

[그림] TEM, XRD 등을 통한 Sn-S/rGO 재료의 합금-전환 반응 분석



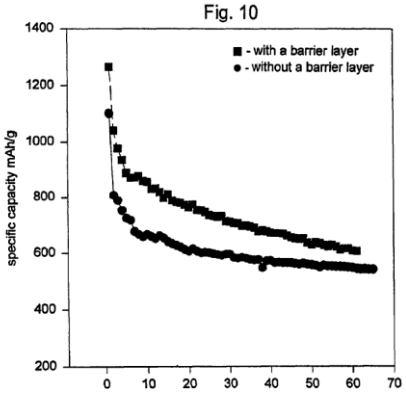
J-H. Kim et al., *Adv. Energy Mater.* (2018)

[그림] Ex situ XANES를 통한 GeS2/rGO 재료의 합금-전환 반응 분석

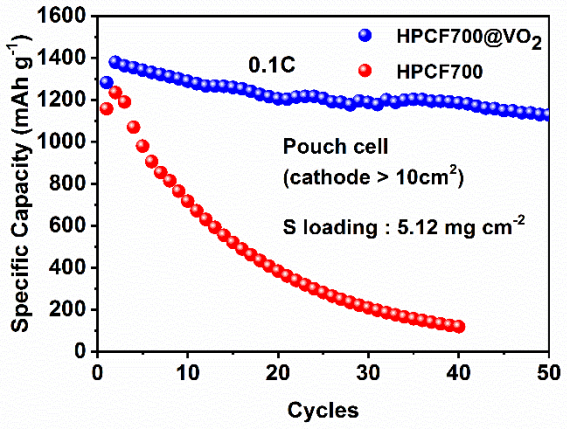
나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술(8/8)

본 기술의 특장점(면적당 충전용량)

- 리튬-황 전지의 상용화에 기여



<US 7,790,315,B2_by Sion Power>

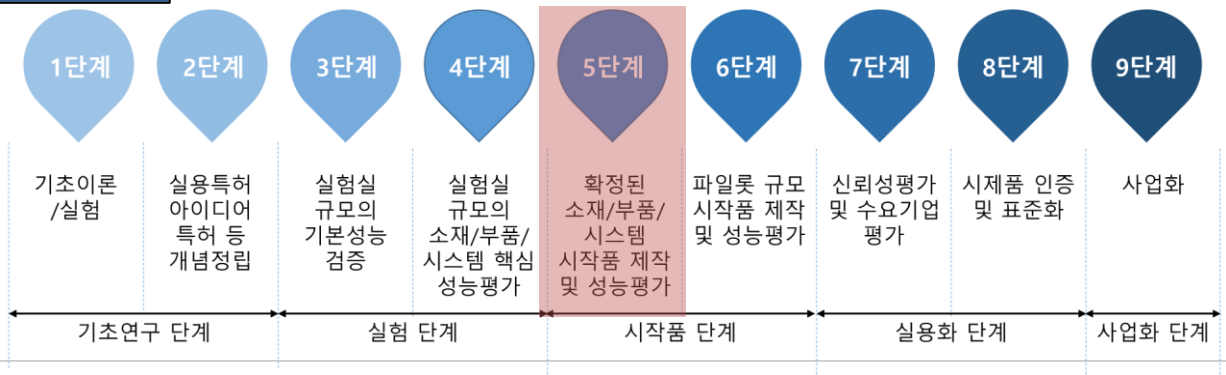


KAIST

RECORD	Metric standard and Level	Remark
세계 기록	350 Wh/kg	美 Sion Power, 파우치 셀 타입
초기 기록	~ 1 mg/cm^2 1,300 mAh/g	코인 셀 타입
단기 목표	> 5 mAh/cm^2	- 파우치 셀 타입 (>10 cm^2)
달성 기록	> 6 mAh/m^2	- 유리 섬유 전극 (코인 셀)
	> 7 mAh/cm^2	- 탄소 나노 섬유 전극 (코인 셀)
	> 7 mAh/cm^2	**- 파우치 셀 (>10 cm^2) (현재 진행 중)**

대상기술의 개발 현황

기술성숙도(TRL)



특허리스트

No.	국가	특허번호	명칭
1	한국	10-2018-0032615	자가 엮임된 전도성 섬유막을 이용한 플렉시블 리튬-황 이차 전지용 양극 및 이의 제조방법
2	한국	10-1993371	황 코팅된 폴리도파민 개질 그래핀 산화물 복합체, 이를 이용한 리튬-황 이차전지, 및 이의 제조 방법
3	한국	10-1715763	양극 활물질 폴리머 전사 방법 및 장치
4	한국	10-1698052	황 탄소 나노 구조체, 이와 같은 황 탄소 나노 구조체를 이용한 리튬-황 이차전지용 양극 및 양극이 적용된 배터리
5	한국	10-1533653	산화알루미늄 템플릿을 이용한 리튬-황 이차전지용 양극 및 이의 제조방법

향후 활용도 및 높은 시장성 예상

구분	목적	사업화 주체	사업화 방안
1. 이차전지	나노 구조 설계 및 분석을 통한 고용량/저비용 리튬 이차전지 제조가 가능하여, 용량 및 수명 특성 향상과 원가 절감	이차전지 제조 기업, 삼성SDI, LG화학, SK이노베이션, 포스코ESM 코스모신소재, 엘앤에프, 에코프로	이차전지 소재분야 및 국내 Value Chain을 강화하여야 하며, 국가간 경쟁이 치열한 상황에서 경쟁력 확보 및 해외 판로 개척
2. 전기자동차	고용량, 고출력을 요구하는 중대형 이차전지 제공	전기차 배터리 제조 기업, 도요타, 폭스바겐, 다임러, BMW, 현대자동차, 파나소닉, CATL, BYD, LG화학, 삼성SDI, Optimum	전기자동차 배터리 관리/정보수집 시스템 양산형 배터리 팩 판매 전기자동차 충전소 등 인프라 구축(대형마트, 고속도로 휴게소 등)
3. 에너지저장장치	경제성, 친환경성, 안정성을 극대화할 수 있는 이차전지 제공	ESS 배터리 제조 기업, 삼성SDI, LG화학, SK이노베이션, 한국파워셀, LS산전	대용량화에 필요한 전극소재, 전해질, 전지설계 기술, 폭발 방지용 ESS 관리시스템 판매
4. 무인항공기	고효율, 고용량을 요구하는 이차전지 제공	무인기 배터리 제조 기업, 3DR, Parrot, DJI, Aeryon, Amazon, 대한항공, LIG넥스원, 휴인스, 퍼스텍	고밀도, 소형, 저전력 배터리 판매

02 시장 환경 분석

1. 시장의 정의 및 범위
2. 세분 시장 환경 분석

목표 시장의 정의 및 범위

1. 이차전지

- Cordless 기기의 다변화와 성능개선, e-Truck 중심의 친환경차 출시 가속화, 무인항공기(드론)의 저변 확대, 에너지저장장치 설치 정책 강화로 이차전지 수요는 예상보다 빠르게 증가할 전망
- 이차전지 성능 개선을 위한 소재 개발과 하이니켈 삼원계 등을 양극으로, 실리콘계 등을 음극으로 사용하는 등 다양한 전극 활물질을 대상으로 개발 진행 중이며, 차세대 이차전지 상용화를 위해 고체 전해질 기술 개발도 지속되고 있어 시장진입 가능

2. 전기자동차

- 환경규제가 강화되면서, 자동차 산업은 전기차, 수소전지차 등 친환경차 중심으로 변화하고 있음
- 글로벌 전기차 시장의 성장으로 배터리 산업, 소재 산업 및 부품 등 전기자동차 관련 다양한 산업군에서 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며, 전기차의 성장성에 비례하여 동반 성장하고 있어 시장진입 가능

3. 에너지저장장치

- 스마트그리드 열풍과 신재생에너지사업 활성화로 인해 에너지저장시스템에 대한 관심도 급부상하고 있음
- 정부의 친환경 에너지 전환정책을 기반으로 안정적 성장세를 유지할 전망
- 핵심부품인 배터리는 기존 소형 리튬이온전지 업체들이 중대형으로 사업영역을 확장하고 있고, 배터리 등 부품 가격이 하락하였으며, 정부의 각종 지원정책으로 ESS 운영분야의 수익성과 현금흐름이 크게 개선되어 시장진입 가능

4. 무인항공기

- 군 수요를 중심으로 형성되었으나, 민간용 무인기 이용이 활성화됨에 따라 공공용, 상업용, 과학용, 취미용 무인기 등에 적용되어 활용범위를 점점 더 넓혀가고 있음
- 새로운 무인 항공기 시장을 개척하고 수요자의 요구에 대응하기 위한 무인기 활용 기반기술 개발이 활발히 진행되고 있어 국방, 물류/운송, 건설 농업, 보안 등 시장 진입 가능

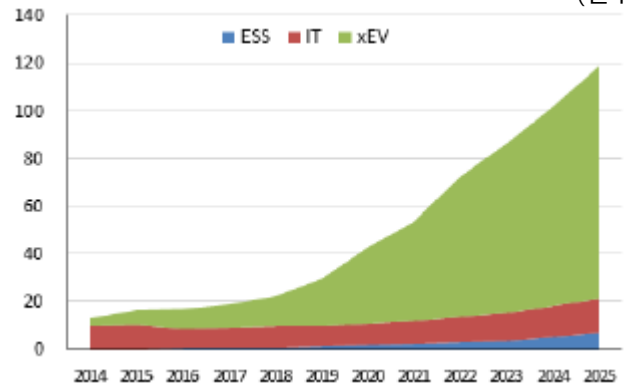
◆ **나노 구조 설계 및 분석 기술을 활용하여 고용량 저비용 이차전지를 제조하여 전기자동차, 에너지저장장치, 무인항공기 등 적용**

1. 이차전지

- **소형전지 수요**는 휴대폰 시장 성장 둔화 등으로 **증가율이 낮은 반면**, **xEV용**은 전기자동차 보급 확대로 **급성장 전망**
  - 2017년 xEV용이 IT용을 상회하기 시작했으며, **2025년**에는 **xEV용이 82.3%**를 차지할 전망
- **세계 리튬 이차전지 시장**은 **2017년~2025년** 중 금액 기준으로 **연평균 10% 이상 성장 전망**
  - **2017년~2025년** 중 **금액 기준**으로 **연평균 26.0%**, **용량 기준**으로 **37.6%** 성장할 것으로 전망
  - xEV용은 각각 연평균 45.7%, 34.0% 성장할 것으로 예상
  - IEA(2018)는 **xEV용 이차전지 수요**가 **2017년~2025년** 중 용량 기준으로 **연평균 약 22%** 성장하고, **2025~2030년** 중 다시 **약 2배로 성장**할 것으로 전망
  - EV30@30 시나리오(2030년까지 전기자동차 시장점유율 30% 달성)에서는 2017년~2025년 중 용량 기준으로 연평균 약 36% 증가하고, 2025~2030년 중 다시 약 3배로 성장할 것으로 예상

세계 이차전지 시장 전망

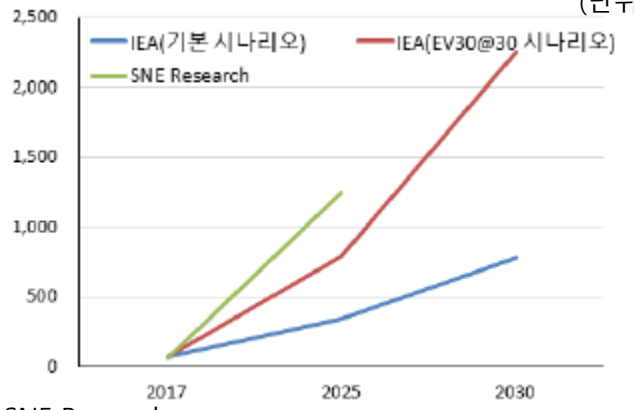
(단위:십억달러)



자료 : SNE Research

xEV용 수요 전망

(단위:GWH/년)



자료 : SNE Research

2. 전기자동차

- 전기차 판매를 감안한 **전기차 배터리 시장** 규모는 **2025년 888GWh**(vs. 2015년 19GWh)으로 전망
- 기존 대비 배터리 용량이 큰 모델들이 출시되면서 **전기차 시장의 성장(2018년~2025년 연평균 +30.3%)**보다 **배터리 시장의 성장(+41.8%)**이 더 가파르게 나타남(배터리 가격 하락을 감안해도 시장 규모가 6배 넘게 커짐)
- 현재 전기차 배터리 시장의 공급과잉율은 300%를 상회하며, 당분간 대규모 증설이 예정되어 있기 때문에 2020년~2021년까지는 이러한 상황이 지속될 전망
- 다만 그 이후에도 꾸준한 생산능력 확대는 상위 몇몇 업체들만 가능하고, 공급과잉 규모는 2019년을 정점으로 점차 개선될 전망이며, 2025년을 전후로 수급 밸런스 도달이 예상됨

전기차 vs. 배터리 시장 규모 및 전망

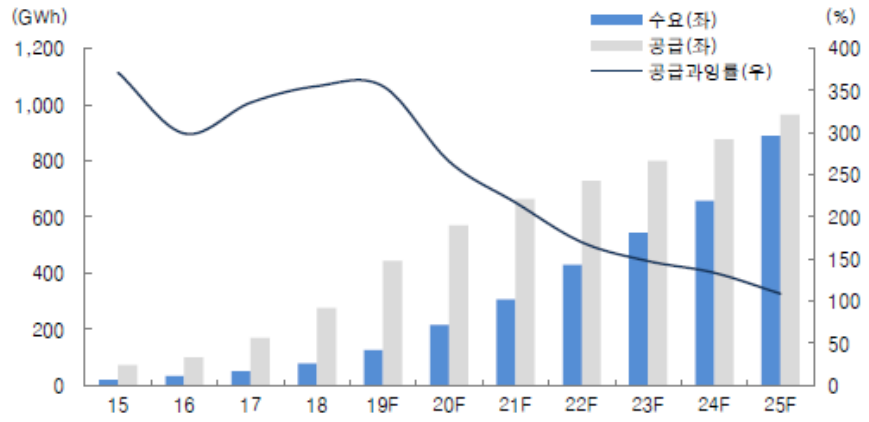
(단위:GWh, 백만대, kWh/대)

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
배터리	18.9	32.8	50.1	77.2	124.5	214.3	305.8	428.5	542.5	656.8	887.6
전기차	2.4	2.8	3.7	4.7	6.0	7.9	9.7	11.7	13.8	16.2	19.2
배터리/전기차	7.9	11.6	13.6	16.5	20.8	27.2	31.4	36.8	39.4	40.6	46.2

자료 : 대신증권 Research&Strategy본부

글로벌 전기차 배터리 수급 및 전망

(단위: GWh, %)

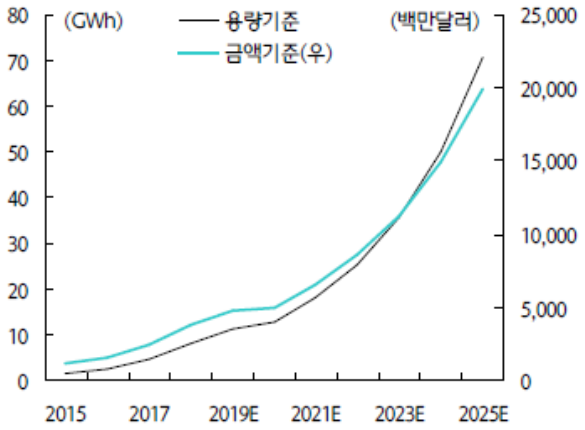


자료 : SNE리서치, 산업 자료, 대신증권 Research&Strategy본부

3. 에너지저장장치

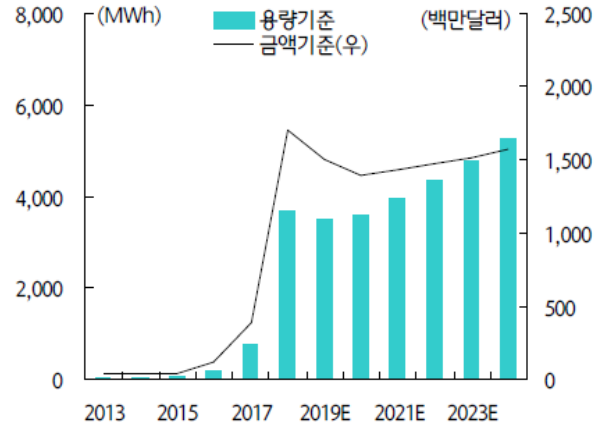
- **세계 ESS 시장**은 **2025년까지** 용량기준 **연평균 40%대의 높은 성장률**을 유지할 전망
  - **세계 ESS 설치량은 용량기준 2017년 4.8GWh**에서 연평균 40%씩 성장하여 **2025년 70.5GGWh**로 늘어날 전망
  - **금액기준으로는 2017년 24.2억 달러**에서 연평균 30%씩 성장하여 **2025년 198.9억 달러**에 달할 전망
- **국내 ESS 설치량**은 **2018년 1.8GWh**로 2017년 대비 20배 이상 증가하였으며, **2019년 4.8배 늘어난 3.7GWh**가 설치될 전망
  - 평균 구축비용 감안시 **2018년** 상반기에만 **약 9,800억원** 규모의 시장이 창출되었으며, 2012년~2017년 총 보급량(1.1GWh)을 상회함
  - ESS 특례 요금제, 재생에너지 연계 ESS의 공급인증서(REC) 가중치 확대, 공공기관 ESS 설치 의무화 제도 등 정부의 ESS 지원 정책 시행으로 수요가 급증(**2017년 5MWh**에 그쳤던 피크저감용 수요가 **2018년**에는 226배 증가한 **1,129MWh**로 대폭 확대되었으며, **재생에너지 연계용**도 **2017년 42MWh**에서 **2018년 683MWh**로 16배 증가)

세계 ESS용 리튬이온전지 시장규모 전망



자료 : SNE research, 하나금융경영연구소

국내 ESS 시장 전망



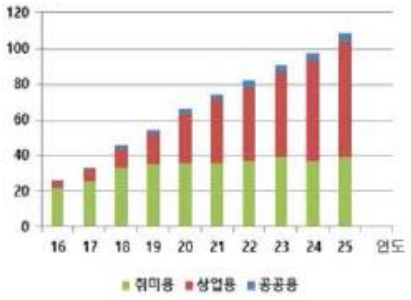
자료 : SNE research, 하나금융경영연구소

4. 무인항공기

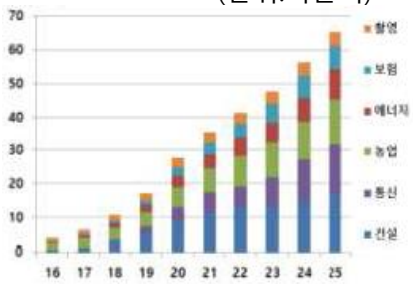
- **무인항공기 세계 시장**은 **2016년도 56.2억 달러**에서 **2025년 239.2억 달러**로 고성장 할 것으로 전망
  - **민수용 항공드론 시장**은 지속적인 성장세를 보이고 있으며, **2016년 26억 달러**에서 **2025년에는 109억 달러** 규모 예상
    ※ 이는 과거 군수시장 일변도에서 벗어나 취미용 중심이 되면서 무인항공기 전체시장의 46%를 차지하는 수준
  - **상업용 시장**은 향후 규제동향에 따라 변화할 수 있으나, 관련 기관들은 **2025년 65억 달러, 2033년 100억 달러** 이상의 성장 전망
- **무인항공기 국내 시장**은 취미용 항공드론을 제외하고 **2015년 약 1억 달러**에서 연평균 35%씩 성장하여 **2020년 약 4억 달러**로 확대될 전망
  - **국내 항공드론 시장**의 대부분은 군수용 중심이지만 점차 영상촬영용, 건설과 농업용 등의 상업적 활용 분야로 확대
  - **국내 상업용 시장**은 2020년대 초부터 본격적으로 창출 될 것으로 예측하며, 해안/산불/환경 감시, 방재, 측량 등의 공공수요부터 시작하여 다양한 상업용 무인항공기가 활용될 것으로 예측됨

세계 무인항공기 시장 전망

(단위:억달러)



<세계 민수용 무인항공기 시장규모>



<세계 상업용 무인항공기 시장규모>

자료 : Teal Group, 2016

국내 무인항공기 시장 전망

(단위:억달러, %)

구분	'15	'16	'17	'18	'19	'20	성장률
규모	0.94	1.30	1.70	2.29	3.07	4.13	34.5

자료 : 산업연구원

03 BM 설계

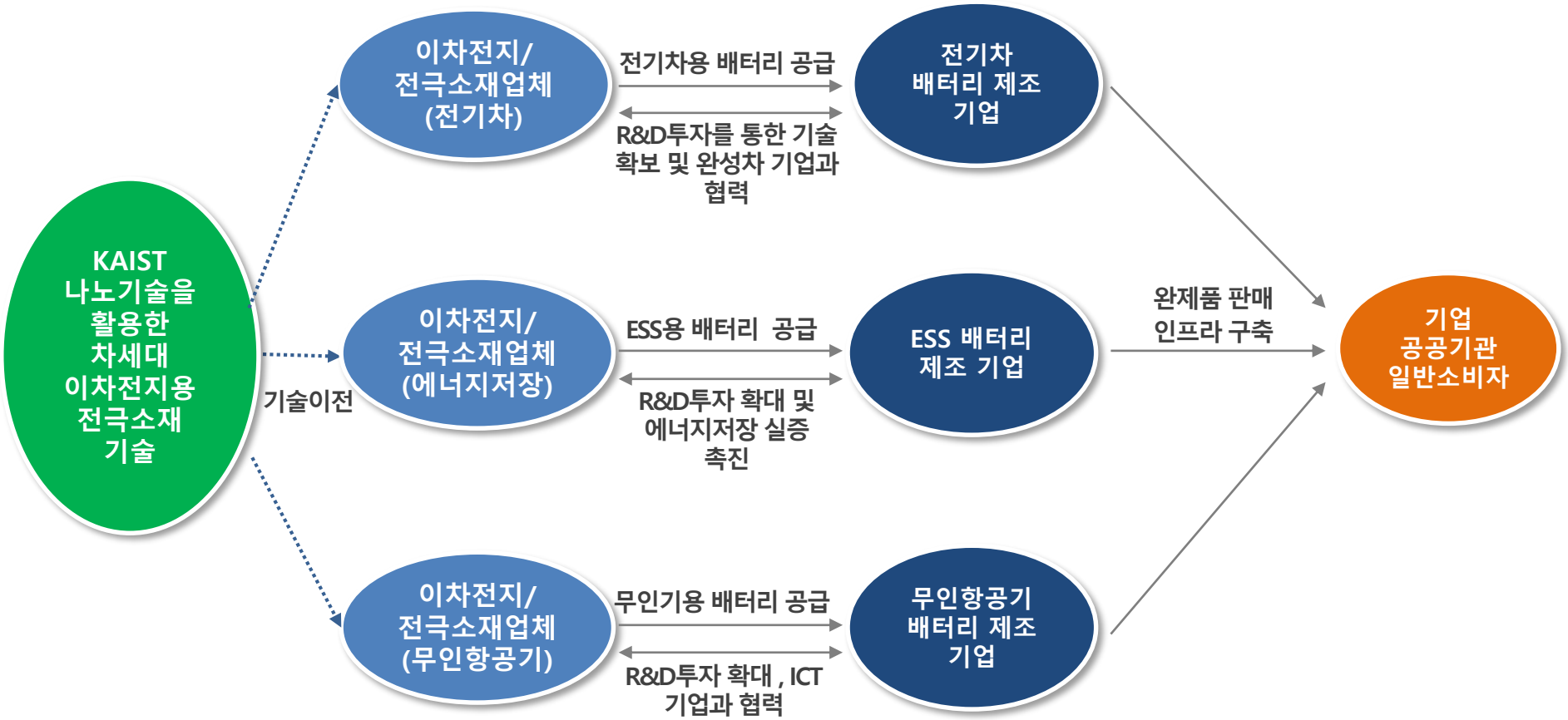
1. 사업화 방안
2. 응용 BM

응용분야별 사업 구조

진입시장	전기자동차	에너지저장장치	무인항공기
목표고객	• 이차전지 소재 기업, 완성차 기업, 전기차 배터리 제조 기업	• 이차전지 소재 기업, ESS 배터리 제조 기업	• 이차전지 소재 기업, 항공사, 국방, 물류/운송 업체, 환경/교통, 농업 관련 기업
유통 채널	• 도요타, 폭스바겐, 다임러, BMW, 현대자동차, 파나소닉, CATL, BYD, LG화학, 삼성SDI, SK이노베이션	• 삼성SDI, LG화학, SK이노베이션, 한국파워셀, LS산전	• 3DR, Parrot, DJI, Aeryon, Amazon, 대한항공, LIG넥스원, 휴인스, 퍼스텍, 유콘시스템
주요 제공가치	• 고용량, 고출력을 요구하는 중대형 이차전지 제공	• 경제성, 친환경성, 안정성을 극대화할 수 있는 이차전지 제공	• 고효율, 고용량을 요구하는 이차전지 제공
시장 진입 사업화 전략	• 국내 전지 3사(LG화학, 삼성SDI, SK이노베이션)가 소재·장비 협력사와 상생협력 및 M&A 추진 • 해외 광산기업과의 제휴 및 지분인수 등을 적극적으로 고려하고, 잠재력이 있는 배터리재활용 시장의 활용방안을 모색	• 중장기적인 국내 에너지 저장 수요에 미리 대응하고, 급팽창하는 해외시장 선점을 위해, 국내 ESS 시장을 조기에 창출할 필요가 있음 • 전략적 기술개발 및 투자 확대, 실증 지원, 산업 인프라 구축 필요	• 무인기 부품 및 서비스 시장에 진출하기 위해 관련 기업의 M&A 추진 • 글로벌 메이저 드론 제조기업과 제품개발 및 공동 마케팅 추진 등을 통해 부족한 국내 수요를 확보할 필요가 있음

비즈니스 분야

- 나노기술을 활용한 차세대 이차전지용 전극소재 기술 응용 BM 설계



The End of Document