

GT 워싱턴DC 거점



GT Insight

GLOBAL TECH KOREA

2023-GT-DC-016

친환경 에너지 시대,
차세대 이차전지 개발 동향과 전망

CONTENTS

I. 친환경 에너지 시대의 개막

1. 전기차 시장의 성장
2. 그리드 에너지 저장 시스템

II. 리튬 이차전지의 전망

III. 차세대 이차전지의 전망

1. 전고체 이차전지
2. 소듐 이차전지
3. 포타슘 이차전지

IV. 맺음말

주요 내용 요약

- ▶ 친환경 에너지 시대로 들어가면서, 차세대 이차전지 개발이 더욱 중요해지고 있음
- ▶ 기존의 리튬 이차전지에 들어가는 주요 물질 공급의 한계로 발생하는 가격 상승이 이러한 차세대 이차전지 개발에 대한 요구를 더욱 가중시키고 있음
- ▶ 이달의 신기술 보고서에서는 왜 차세대 이차전지의 개발이 중요해졌는지에 대해 살펴보고, 차세대 리튬 양극 소재, 전고체 이차전지, 소듐 이차전지, 포타슘 이차전지와 같은 최근 각광받고 있는 차세대 이차전지 기술개발 동향과 시장의 전망 등을 정리



I 친환경 에너지 시대의 개막

- ▶ 현대 사회가 되면서 인구의 증가와 더불어 에너지 소비가 크게 증가하고 있지만, 최근까지도 우리가 사용하고 있는 에너지의 80% 정도는 화석연료를 사용하여 만들고 있음
- 미국의 에너지 사용의 79% 정도가 화석연료에서 발생하였으며, 8% 정도는 핵에너지를 활용한 발전, 그리고 단 12% 만이 신재생에너지를 사용하였다고 보고됨 [2021년 기준, 그림 1]¹⁾
- 유럽의 경우도 크게 다르지 않은 실정이고, 2020년 기준의 보고서를 보면, 유럽에서 사용되고 있는 에너지원의 70% 정도가 화석 연료를 기반으로 하고 있으며, 신재생에너지는 에너지 사용의 4% 정도만을 차지²⁾
- 아시아의 경우, 화석 연료의 의존도가 더 높은 실정이며,³⁾ 비록 지금까지 화석 연료의 사용이 사회의 발전에 크게 기여한 것은 부정할 수 없는 사실이지만, 우리가 현재 겪고 있는 자연환경 변화의 큰 원인이라는 것 또한 부정할 수 없음
- ▶ 화석 연료의 공급이 지속될 수 있을지에 대한 의문, 화석 연료의 고갈에 따른 가격의 상승, 그리고 환경 파괴에 대한 걱정으로 인해서, 현재 많은 국가가 화석연료에서 신재생 에너지원의 사용으로 눈을 돌리고 있음
- ▶ 화석 연료의 과도한 사용으로 인한 환경 파괴와 기후변화는 현대 사회의 중요한 문제로 대두되고 있음

1) U.S. Energy Information Administration

2) www.iea.org/regions/europe

3) Energy Tracker Asia

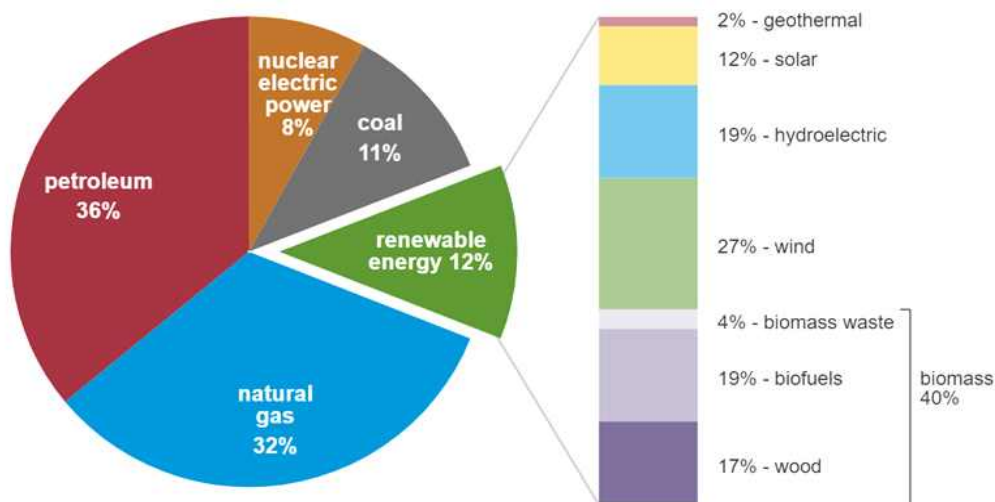
- 이를 해결하기 위해서, 미국 정부가 제시한 전체 이산화탄소(CO2)의 발생을 줄이는 "Net Zero Emission" 혹은 "Negative Emission"을 2050년까지 달성하기 위하여, 미국의 에너지 과학부(Department of Energy)는 이산화탄소 1톤당 100달러 이하 비용으로 포집 및 저장할 수 있는 기술개발을 목표로 제시⁴⁾
- 유럽 또한 2030년까지 이산화탄소를 포함한 그린하우스 가스(Greenhouse Gas)발생을 1990년 발생량 대비 최소 55% 이하로 감소 시키는 목표를 제시⁵⁾
- 아시아 또한 이러한 움직임에 참여할 것으로 기대하고 있으며, 이러한 도전적인 목표를 달성하기 위해서는 이산화탄소 포집 및 활용 기술의 개발뿐 아니라, 신재생에너지를 활용한 전기 발생 기술의 발전, 에너지 저장 시스템 기술개발이 함께 병행되어야 함

[그림 1] 2021년 미국의 에너지 사용량과 에너지 생산 출처

U.S. primary energy consumption by energy source, 2021

total = 97.33 quadrillion
British thermal units (Btu)

total = 12.16 quadrillion Btu



Data source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.3 and 10.1, April 2022, preliminary data



Note: Sum of components may not equal 100% because of independent rounding.

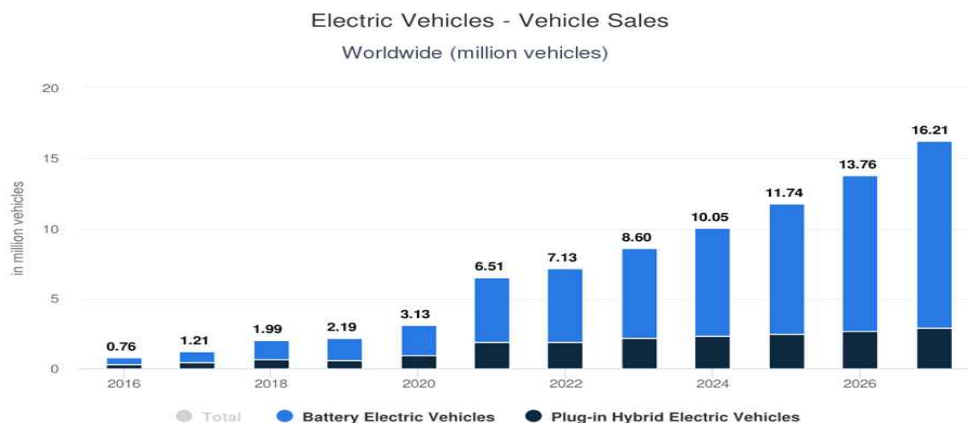
Source: U. S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.3 and 10.1, April 2022.

4) www.energy.gov/fecm/carbon-negative-shot
5) 2030 Climate Target Plan

1 전기차 시장의 성장

- 현재 사용하고 있는 화석 연료 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 석유가 사용되고 있는 산업을 살펴보면, 69%의 석유가 교통 산업에 집중되어 있다는 것을 알 수 있음 (2021년 미국 기준)⁶⁾
- 여전히 석유를 사용하는 자동차들이 대다수를 차지하고 있지만, 친환경 에너지 시대로 변화해 감에 따라 전기차에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있고 앞으로 더 빠르게 이러한 추세가 증가할 것으로 예상됨
- Statista의 분석에 따르면, 2016년 대비 2021년 전기차의 판매량은 8배 이상 증가하였으며, 2021년에는 전기차가 전체 자동차 시장의 10%를 차지할 정도로 많은 성장을 보여주었음[그림 2]⁷⁾
- 또한, 이러한 전기차 시장의 성장 추세는 계속될 것으로 보이며, 2022년부터 2027년까지 전기차(순수 전기차 및 플러그인 하이브리드 포함)의 판매량이 700 만대에서 1600만대 이상으로 증가할 것으로 예상됨
- 아직 대형 트럭의 경우 전기차의 시장 점유율은 0.3%에 그치고 있으나, 전기 기반 대형 트럭시장도 함께 성장할 것으로 기대됨

[그림 2] 전기차 판매량 예측표



Source: Statista

6) U.S. Energy Information Administration

7) Statista

- 전기차 시장이 성장함에 따라, 이차전지의 성능 향상에 대한 요구가 크게 증가하고 있음
- 향후 전기차 시장이 더욱 성장하기 위해서는 전기차 주행거리의 증가, 급속충전 기술의 향상, 그리고 이차전지의 가격 감소가 함께 이루어져야 함
- 미국의 에너지 부서 산하의 자동차 기술부 (Vehicle Technology Office, or VTO)는 [표1]과 같은 목표를 제시함
- 최근에는 같은 미국의 에너지 부서 산하의 ARPA-E (Advanced Research Projects Agency-Energy) 또한 EVs4ALL (Electric Vehicles for American Low-carbon Living)이라는 프로그램을 통하여 표1과 같은 중요한 목표를 제시함

[표 1] 미국 에너지 부서의 전기차용 이차전지의 목표

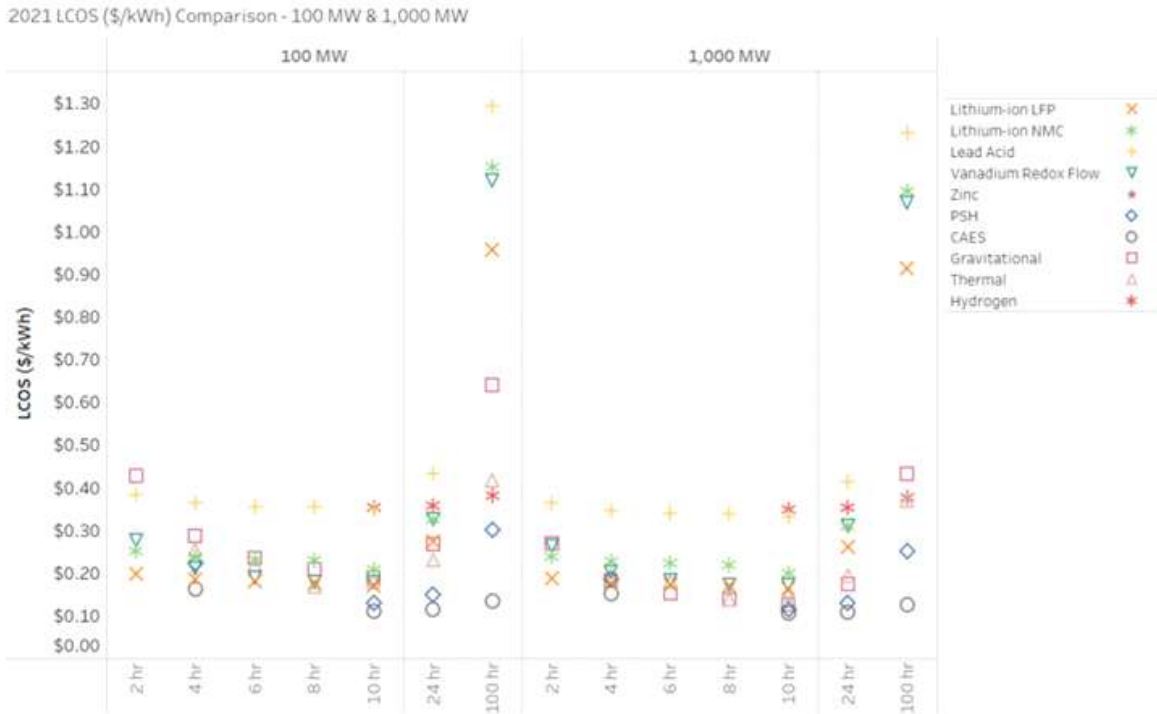
목표	충전시간	저온특성	주행거리	이차전지 가격
VTO 목표	15분 이내 충전	-	> 300 마일 (완전 충전 후)	< 100달러 /kWh
ARPA-E 목표	5-15분 (80% 이상 충전)	저온 특성 감소 50% 이하	누적주행 200,000 마일 주행후 90% 이상 용량 유지	< 75달러 /kWh

Source: www.energy.gov, www.arpa-e.energy.gov

2

그리드 에너지 저장 시스템

[그림 3] 그리드 에너지 저장 시스템의 LCOS 분석 결과



Source: 2022 Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment Report, Department of Energy

- 친환경 에너지 사회로 나아가기 위해서, 그리드 에너지 저장 시스템 또한 빠르게 성장하고 있는 추세임
- Visiongain Report Ltd.에 따르면 그리드 규모의 이차전지 시장은 2032년까지 매년 15.6% 성장할 것으로 예상하고 있음⁸⁾
- 또한 미국의 에너지 부서도 그리드 에너지 저장 시스템 시장은 2040년까지 85-140 TWh까지 시장이 성장할 것으로 기대되며, 이는 1.5-4조 달러 (한화: 2,000-5,000조 원)의 가치가 있을 것으로 예상됨

8) GlobeNewswire by notified

- 그리드 에너지 저장시스템은 신재생에너지에서 발생한 에너지를 저장하고 건물이나 인프라 시스템에서 사용할 수 있도록 해주는 시스템이며, 그렇기 때문에 전기차에 비해서 이차전지의 무게나 부피에 대한 제한이 더 적은 반면에 이차전지의 가격이 더욱 중요해짐
- 특히, 에너지 저장 시스템에 드는 총비용을 에너지 시스템이 저장하여 사용할 수 있는 전체 에너지로 나눈 수치인 LCOS(Levelized Cost Of Storage)가 중요한 평가 요소임
- [그림 3]은 다양한 에너지 저장 시스템의 LCOS를 보여주고 있고, 리튬을 활용한 이차전지는 낮은 LCOS를 보여주며 그중에서도 LiFePO₄(LFP)를 사용한 리튬 이차전지는 오랜 에너지 사용하는 (>24 시간 이상 사용) 시스템에서도 우수한 특성을 보여주고 있음
 - 이는 리튬을 기반으로 하는 이차전지가 전기차뿐 아니라 그리드 에너지 저장 시스템에도 널리 사용될 가능성을 보여주고 있음

II

리튬 이차전지의 전망

- ▶ 리튬 이차전지는 높은 에너지 밀도, 우수한 에너지 효율, 우수한 사이클 특성이 있으며, 많은 전자기기에 보편적으로 사용되고 있음
- ▶ 앞서 언급한 것과 같이 리튬 이차전지 성능의 향상은 전기차 시장의 문을 열었으며, 앞으로 전기차 시장은 지속적으로 성장할 것으로 기대되며, 그리드 에너지 저장 시스템에도 리튬 이차전지가 사용되고 있음
- ▶ 하지만, 현재 사용하고 있는 리튬 이차전지는 NMC ($\text{Li}_x\text{Ni}_y\text{Mn}_z\text{Co}_{1-y-z}\text{O}_2$)이라고 불리는 양극 소재를 활용하고 있고, 리튬 이차전지의 수요가 크게 증가함에 따라, 리튬(Li) 과 코발트(Co)의 매장량이 충분한지에 대한 논의가 많이 되고 있음
- ▶ 사실, 리튬과 코발트의 매장량보다도 큰 문제는 '리튬과 코발트를 필요한 만큼 많이 그리고 안정적인 가격으로 공급할 수 있는가?'이며, 비록, 코발트의 매장량의 문제와 비싼 가격의 문제로 인하여 니켈(Ni) 함량이 높은 NMC 양극을 사용하기 시작하였으나, 니켈의 수요가 크게 증가함에 따라 니켈의 생산량 그리고 안정적인 가격에 대한 의문을 제기하는 것은 어찌 보면 너무나 당연한 순서일 것임
- 이에 따라, 코발트와 니켈이 필요 없는 양극 소재를 개발 및 활용하는 방향으로 많은 연구가 진행되고 있음
- 예를 들어, 가격이 저렴하고 매장량이 코발트나 니켈에 비해 월등히 많이 있는 망간 (Mn)이나 철(Fe)을 함유한 양극 소재에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 현재 테슬라 Model 3에는 이미 철을 기반으로 한 리튬-철-인산계 (LiFePO_4) 양극 소재를 기반으로 한 리튬 이차전지를 탑재하고 있음
- 또한, 리튬-철-인산계 양극 소재는 전기 자전거용 이차전지에 많이 활용되고 있으며, 전기차 시장과 그리드 에너지 저장 시스템 시장의 성장이 계속됨에 따라, 망간과 철을 기반으로 한 양극 소재에 대한 수요가 더욱 증가할 것으로 기대됨

III

차세대 이차전지의 전망

- ❏ 전기차나 그리드 에너지 저장 시스템과 같은 대용량 이차전지의 수요가 크게 증가함에 따라, 차세대 이차전지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음
- ❏ 한편으로는 이차전지의 용량, 에너지 밀도를 크게 높이는 방향의 연구와 다른 한편으로는 가격 경쟁력이 있고 친환경적인 이차전지 개발에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있음
 - 용량 및 에너지 밀도를 높이는 방향의 연구는 전고체 이차전지가 가장 대표적이라고 할 수 있음
 - 소듐이나 포타슘 이차전지의 경우, 이차전지의 가격을 크게 낮추는 방향의 연구라고 볼 수 있음

1

전고체 이차전지

- ❏ 기존의 리튬 이차전지는 NMCL나 리튬-철-인산계 소재와 같은 무기 소재를 양극으로, 흑연과 같은 탄소 소재를 음극으로 사용하며, 액체 기반의 전해질을 사용함
- ❏ 이와 다르게 전고체 이차전지는 액체 전해질 대신에 무기 소재 혹은 유/무기 복합체인 고체상태의 전해질을 사용함
- ❏ 이차전지가 충전 및 방전 시 내부 단락이 발생하였을 때 액체 전해질은 발화할 수 있는 안전상의 문제점을 가지고 있음
- ❏ 하지만, 고체 전해질의 경우, 액체 전해질과 다르게 발화하지 않아 기존의 리튬 이차전지에 대비하여 높은 안전성을 보유하고 있음
- ❏ 이러한 높은 안전성 덕분에 흑연 대신에 리튬 메탈을 음극으로 할 수 있게 되었으며, 이차전지의 에너지 밀도를 크게 높일 수 있게 되었음

- 이에 따라 최근에 미국의 Ampcera, Intecells, QuantumScape, Factorial Energy, Solid Power나 유럽의 GQ Energy, Sphere Energy, BASQUEVOLT, High Performance Battery와 같은 많은 스타트업 회사들이 생겼으며 [그림 4], 아시아의 LG Energy Solution, Samsung, Toyota와 같은 주요 이차전지 생산 회사들도 전고체 이차전지 시장에 뛰어 들고 있음
- 최근에는 중국의 CATL이 기존의 리튬 이차전지의 에너지 밀도보다 40% 이상 높은 500Wh/kg를 달성하였다고 발표하였음
- 하지만, 현재까지 개발되어 시장에 나와 있는 전고체 이차전지는 유기물이 섞여 있는 구조여서, 실질적으로 '전고체' 이차전지라기보다는 '전고체에 가까운' 이차전지라고 정의하는 게 더 정확함
- 아직까지는 유기물이 전혀 들어가 있지 않은 전고체 이차전지의 개발과 생산에 관한 연구가 더욱 필요한 시점임
- 전고체 이차전지에 들어가는 고체 전해질의 개발뿐 아니라, 개발된 고체 전해질을 어떻게 저렴한 가격에 생산하고 이차전지 셀에 적용할 수 있을지에 대한 연구가 점점 더 중요해지고 있는 시점이라고 볼 수 있음

[그림 4] 그리드 에너지 저장 시스템의 LCOS 분석 결과



Source: Startus-insights.com

- 소듐 이차전지는 기존의 리튬 이차전지와 구동하는 방식이 매우 유사함
- 양극 소재의 경우, 리튬 이차전지에서 사용하는 소재와 같은 층상구조의 물질에 리튬 대신에 소듐이 삽입된 물질을 사용할 수 있음
 - 또한 리튬 이차전지에 사용되는 리튬-철-인산계 소재와 구조는 다르지만 같은 폴리 어나이온 (Polyanion) 계열의 구조 군에 들어가는 물질들을 양극으로 활용할 수도 있음
 - 또한, 프러시안 블루(Prussian Blue) 계열의 새로운 구조를 소듐 이차전지 양극으로 활용하기도 함
- 음극의 경우, 흑연 대신, 같은 탄소 계열의 난흑연화성 탄소 (혹은 비결정 탄소)를 사용함
 - 소듐 이차전지는 기존의 리튬 이차전지에 비해 에너지 밀도가 낮지만 가격 경쟁력 측면에서 높은 강점을 가지고 있음
- CATL, FARADION, NATRON Energy, Natrium, HiNa Battery와 같은 많은 회사가 소듐 이차전지를 개발하고 있음
- 최근 HiNa Battery에서 에너지 밀도가 140Wh/kg인 소듐 이차전지 셀을 전기차에 탑재할 계획이라고 발표했다⁹⁾
- 최근 기사에 따르면, HiNa Battery의 소듐 이차전지를 탑재한 전기차는 완전 충전 시 252km주행이 가능하다고 함

9) cnevpost.com

[그림 5] 소듐 이차전지를 탑재한 Sehol E10X 모델



Source: cnevpost.com

3 포타슘 이차전지

소듐 이차전지와 비슷한 이유로 포타슘 이차전지가 큰 관심을 받고 있으며, 미국 텍사스 오스틴에 위치한 Group1이라는 스타트업 회사는 이미 포타슘 이차전지를 출시하였음

- Group1의 포타슘 이차전지는 프러시안 블루 계열의 양극과 난흑연계 탄소 음극을 사용하고 있음
- 포타슘 이차전지는 소듐 이차전지에 비해 높은 작동 전압을 보인다는 장점을 갖고 있어 소듐 이차전지 시장과의 경쟁에서 강점을 가질 것으로 기대하고 있음

- 아직까지는 상대적으로 연구가 늦게 시작되어 향후 더욱 연구가 필요한 분야이지만, 포타슘 이차전지의 시장이 크게 성장할 것으로 기대하는 분석도 최근 나오고 있음¹⁰⁾

10) Transparency Market Research

- ❏ 환경 문제와 자원 고갈의 문제가 심각하게 대두되고 있는 현재 가격 경쟁력이 있고 에너지 밀도가 높은 이차전지의 개발은 더 이상 선택이 아닌 필수가 되었음
- ❏ 기존의 리튬 이차전지는 소형 전자기기의 에너지원으로 성공을 거두었다는 것은 누구도 부정하지 못할 것이며, 이러한 리튬 이차전지가 전기차나 그리드 에너지 저장 시스템에 적용되면서, 리튬 이차전지에 들어가는 소재들의 매장량이나 가격 상승에 대한 문제가 제기되고 있음
- ❏ 앞으로 더 친환경인 사회를 만들기 위해서는 기존의 리튬 이차전지 시스템의 한계를 넘어서는 이차전지 시스템의 개발이 중요해지고 있음
- ❏ 특히나 코로나19를 겪은 경험은 전고체 전지, 소듐 이차전지, 포타슘 이차전지와 같은 다양한 이차전지 시스템의 개발을 통해 앞으로 발생할 수 있는 이차전지에 들어가는 물질들의 공급 문제로부터 자유로워질 수 있어야 한다는 생각을 갖도록 하였음
- ❏ 또한, 각각의 이차전지 시스템이 가지고 있는 장점과 단점이 뚜렷하기 때문에, 한 가지 이차전지 시스템이 소형 전자기기부터 시작해서 전기차 그리고 그리드 에너지 저장시스템 시장을 모두 장악할 것으로 생각되지 않음
- ❏ 대신에 차세대 이차전지 시스템들이 서로 경쟁하기도 하겠지만, 서로 다른 시장을 주도하게 될 것으로 생각됨



친환경 에너지 시대, 차세대 이차전지 개발 동향과 전망

발행일 | 2023년 5월

작성자 | 워싱턴 거점 김은정 소장 (ejkim@kiat.or.kr)

문의처 | KIAT 국제협력기획팀 (jskim11@kiat.or.kr)

-
- ※ 본 자료에 수록된 내용은 한국산업기술진흥원의 공식적인 견해가 아님을 밝힙니다.
 - ※ 본 내용은 무단 전재할 수 없으며, 인용할 경우, 반드시 원문출처를 명시하여야 합니다.
 - ※ 본 자료는 GT온라인 홈페이지(www.gtonline.or.kr)를 통해서도 보실 수 있습니다.



KIAT(한국산업기술진흥원)
미국 워싱턴 D.C. 거점
김은정 소장



KIAT
유럽 벨기에 거점
강주석 소장



KIAT
베트남 하노이 거점
이재민 소장



KEIT(한국산업기술평가관리원)
미국 실리콘밸리 거점
박성환 소장



KEIT
유럽 독일 거점
박효준 소장



KORIL(한국이스라엘산업연구개발재단)
유럽 이스라엘 거점
최정인 소장