

How old batteries will help power tomorrow's EVs

배터리 재활용, 배터리 수요 문제를 해결할 수 있을까

레드우드 머티리얼스 같은 기업들은 전기차 배터리를 재활용하여 핵심 소재의 부족을 해결하고 더 지속 가능한 배터리를 만들 수 있기를 기대한다.

Casey Crownhart 2023년 1월 16일



2023년 10대 미래 기술

본 기사는 MIT 테크놀로지 리뷰의 2023년 10대 미래 기술로 선정된 '배터리 재활용'의 시리즈 기사입니다.

[배터리 재활용 기사 보기 →](#)

[2023년 10대 미래 기술 전체 보기 →](#)



레드우드가 배터리 재활용 공정을 강화하자 한 배터리 회사가 대형 창고에 폐배터리와 배터리 제조과정에서 남은 소재들을 보관하고 있다.

REDWOOD MATERIALS

레

드우드 머터리얼스(Redwood Materials)의 주차장에 깔려 있는 자갈 위에 줄지어 늘어선 종이 상자들은 전기차의 과거와 미래를 상징한다. 미국 네바다 주 리노 외곽에 위치한 레드우드의 새로운 배터리 재활용 부지는 10에이커(40,468m²) 규모의 임시 저장 공간이다. 상자들 대부분은 세탁기 정도의 크기이며 하얀 플라스틱 포장재로 싸여 있다. 상자에는 무선 키보드, 버려진 장난감, 혼다 시빅의 폐 배터리 더미 등이 담겨있다.

쓰레기와는 거리가 먼 이 물건들 전기차 배터리에 들어가는 소재로 사용된다. 재활용 공정에서 회수된 금속들은 폭발적인 전기차 수요를 감당하기 위한 소중한 재료가 될 것이다.

전기차 및 전자제품에 들어가는 리튬이온 배터리의 매립 처리에 대안을 제공하는 재활용 회사가 늘어나고 있다. 레드우드 머터리얼스도 그중 하나다. 2022년 중반 레드우드는 리노에 35억 달러 규모의 공장 건설 계획을 발표했다. 이곳에서 2025년까지 100만 개의 리튬이온 전기차 배터리를 생산하고 2030년에는 누적 500만 개까지 생산량을 늘릴 예정이다. 레드우드는 2023년 미국 동부에서도 추가 시설의 공사를 시작할 계획이다.

한편, 캐나다 회사 리사이클(Li-Cycle)은 매년 약 3만 미터톤의 배터리를 동시에 재활용할 수 있는 4개의 상업용 시설을 운영하고 있고 3개의 부지를 더 마련할 계획이다. 아메리칸 배터리 테크놀로지 컴퍼니(American Battery Technology Company) 같은 미국의 스타트업들도 대규모 상용화 테스트를 발표하며 중국과 유럽이 주류를 이루고 있는 재활용 시장에 합류했다.

이러한 재활용 회사들의 등장은 재활용이 금속을 매립하는 방식보다 환경에 도움이 되기 때문도 있지만 전기차 시장의 호황에 영향을 받은 결과이기도 하다. 미국을 비롯한 전 세계에서 전기차의 도입이 활발하게 이루어지고 있다. 이는 배터리의 소재인 리튬, 니켈, 코발트 등의 금속에 대한 새로운 수요로 이어졌다. 2022년 전기차 판매량은 전체 신차 판매량의 13%를 차지할 것으로 예상되며 2030년에는 30%까지 증가할 것으로 보인다. 전기차를 원활하게 공급하기 위해서는 현재 가능한 수준보다 훨씬 많은 양의 금속이 필요하게 될 것이다.

배터리에 들어가는 코발트, 리튬, 니켈과 같은 금속을 충분히 공급하려면 2035년까지 200개 이상의 새로운 광산이 필요하다. 특히 2050년까지 증가하는 전기차 수요를 감당하기 위해서는 리튬 생산량이 현재의 20배 이상으로 증가해야 한다.

이 상황에서 재활용은 배터리 원료의 새로운 주요 원천이 될 수 있다. 2021년 전 세계에서 재활용 가능한 리튬이온 배터리 및 배터리 제조과정에서 남은 스크랩의 합이 60만 미터톤을 넘었다. 컨설팅 회사 서큘러 에너지 스토리지(Circular Energy Storage)에 따르면 이 수치는 2030년까지 160만 미터톤에 달할 것이다. 그리고 1세대 전기차들이 폐차할 때가 되면 더 크게 증가할 것으로 예상된다.

리튬이온 배터리의 재활용 공정이 새롭게 발전하면서 산업을 변화시키고 있다. 재활용 회사들이 중요한 금속을 분리하고 회수할 수 있게 되면서 이 공정은 경제적으로 바뀌었다. 재활용만으로 소재의 부족을 해결할 수는 없다. 필요한 금속의 수요가 배터리에서 순환되는 양을 늘리기 때문이다. 그러나 공정의 발전 덕분에 재활용 소재가 향후 수십 년간 공급의 상당한 부분을 메꿀 수 있을 것이다.

지난 9월 기자가 레드우드를 방문했을 때 그 회사는 첫 제품인 배터리 음극재에 사용되는 동박(copper foil) 샘플을 보낼 준비를 하고 있었다. 레드우드는 배터리 제조사 파나소닉(Panasonic)에 동박을 납품할 예정이다. 레드우드의 제품은 그곳에서 5마일도 떨어지지 않은 네바다주 기가팩토리(Gigafactory, 전기차 배터리를 제조하는 대형 공장)에서 테슬라(Tesla) 차량의 배터리 셀 제조에 사용될 것이다.

레드우드의 공장으로 향하는 고속도로는 잡초가 무성했고 야생마들이 언덕 종턱에서 한가롭게 노닐고 있었다. 나중에 주차장에서 코요테가 뛰어가는 모습도 볼 수 있을 것 같았다.

그러나 비포장도로를 따라 내려가자 오래된 서부의 분위기는 순식간에 사라졌다. 현장의 모든 사람으로부터 긴박함이 뿜어져 나왔다. 여러 채의 거대한 건물의 공사가 진행 중이었고, 안전 조끼와 헬멧을 장착한 엔지니어와 건설 노동자들이 임시 사무실, 연구소, 회의실로 사용되는 트레일러 사이를 빠르게 돌아다니고 있었다. 현재 진행 중에 있는 공사가 완료되면 레드우드는 두 가지 주요 제품들을 생산할 예정이다. 음극재(anodes)용 동박과 양극활물질(cathode active material)로 알려진 리튬, 니켈, 코발트의 혼합물이 그것이다. 이 부품들의 가격은 전체 배터리 셀 가격의 절반을 넘게 차지한다. 레드우드는 2025년까지 공장 시설에서 매년 100만 대 이상의 전기차 배터리를 제조할 수 있는 충분한 제품을 생산할 수 있을 것으로 추정한다.



레드우드는 리튬이온 배터리를 사용하는 폐 휴대폰, 태블릿, 전자제품을 수거하는 프로그램을 운영한다.



레드우드의 첫 제품은 리튬이온 배터리 음극재에 사용되는 동박이다. 한 레드우드 기술자가 제조 라인에서 나온 동박을 검사하고 있다.

REDWOOD MATERIALS

트레일러에서 언덕 아래로 내려가니 멀찍이 동박을 생산하는 건물이 보였다. 지붕과 벽이 있는 이 건물의 구석에는 동박을 생산하는 장비가 숨겨져 있었다. 반면 다른 2개의 주요 건물은 아직 완공되기에는 멀어 보였다. 하나는 벽이 없었고, 다른 하나는 토대를 다지는 중이었다.

레드우드는 야심 찬 계획을 바탕으로 대규모 공사를 진행하고 있다.

“편집증”

레드우드 머티리얼스의 창립자는 JB 스트로벨(JB Straubel)이다. 스트로벨은 2010년대 초 테슬라의 최고기술책임자(CTO)로서 충전소 네트워크를 구축하는 등 회사의 배터리 혁신을 이끌었던 인물이다. 그러나 테슬라가 전기차의 제조와 판매 방식을 바꾸면서 스트로벨은 배터리 소재의 수요가 압도적으로 증가하게 될 미래를 걱정했다. 그리고 배터리 비용과 제조 과정의 탄소 배출을 줄이는 방법을 고민하기 시작했다.

스트로벨은 테슬라에 재직하는 동안 레드우드를 설립했다. 목표는 지속 가능한 배터리 소재 회사로 거듭나는 것이었다. 그리고 2019년 테슬라를 떠났다. 스트로벨은 엔지니어 출신다운 명확함과 함께 흥분을 담아 숨가쁘게 자신의 목표에 대해 이야기했다. 그는 때때로 생각에 빠져 말을 멈췄다가 배터리 생산의 미래에 대한 자신의 비전을 설명하면서 대화를 재개하곤 했다.

스트로벨은 “원료를 순환해 사용하는 폐쇄 루프(closed loop) 시스템이 없었다면 이 사업은 불가능했을 것이다. 새로운 원료는 계속 만들고 버릴 수 있을만큼 그 양이 충분하지 않다”라고 말했다.

폐쇄 루프는 폐배터리로 새 배터리에 소재를 공급하는 순환형 시스템이다. 간단한 발상처럼 보이지만 실행은 결코 쉽지 않다. 스트로벨은 “분리수거나 쓰레기를 처리하는 차원의 문제가 아니다”라고 말했다.

배터리에 소재로 사용된 중요한 금속 물질들을 화학적으로 분리하는 작업은 매우 까다롭다. 모든 연구소들과 스타트업, 회사들이 가장 순수한 형태로 가능한 많은 양의 가치 있는 소재를 회수하기 위해 이상적인 처리 과정을 찾고 있다.

레드우드의 처리 과정은 회사의 기밀로 외부 누출이 금지되어 있다. 레드우드는 여전히 많은 연구를 진행하고 있으며 해결이 시급한 과제라는 것을 확실히 알고 있다.

스트로벨은 “우리는 앞으로 얼마나 심각한 상태로 기후변화가 진행될지 제대로 깨우치지 못하고 있다. 여기에서 오는 깊은 감정으로 인해 나는 편집증과 조급증이 생겼고 일종의 공황상태에 빠졌다. 전혀 도움이 되지 않지만 말이다”라고 말했다.

이어서 그는 “레드우드는 기후변화의 속도를 충분히 따라가지 못하고 있다. 누구나 마찬가지일 것이다”라고 덧붙였다.

재활용의 역할

대부분의 리튬이온 배터리 재활용 시설은 습식제련(hydrometallurgy)이라 불리는 일련의 화학 공정을 사용한다. 이 공정에서 다양한 산과 용매를 사용하면서 배터리의 소재들을 용해하고 분리한다. 그리고 최근의 기술 발전으로 습식제련을 통해 니켈, 코발트, 흑연, 구리 외에도 높은 확률로 리튬을 회수할 수 있게 되었다.

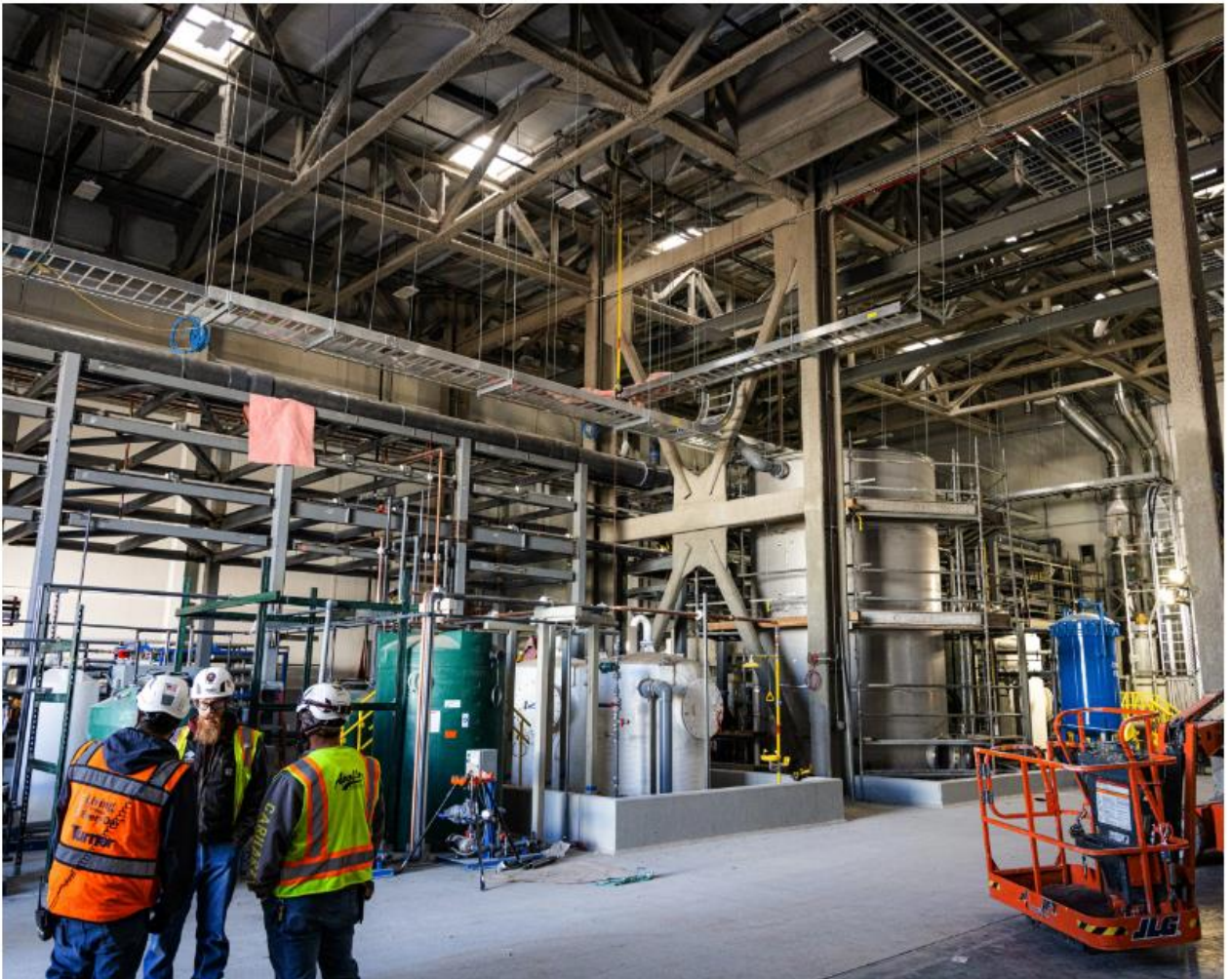
추가적인 공정 후 회수된 소재는 새로운 제품에 사용할 수 있다. 참고로 플라스틱과 같은 일부 소재는 재활용하면서 품질이 떨어질 수 있다. 그러나 배터리에서 회수된 금속들의 경우 전력의 충전 및 저장에 있어 새로 채굴된 금속과 동일한 성능을 보여주는 것으로 드러났다.

레드우드에 도착하는 많은 배터리들은 공정에 들어가기 전 수작업으로 분해해야 한다. 전기차의 배터리 팩의 경우 매트리스 정도의 크기로 레드우드의 장비보다 훨씬 큰 반면, 노트북이나 전동 공구에 붙어 있는 작은 배터리들도 있다. 배터리 종류에 따라 상대적인 비중은 다르지만 공통적으로 리튬, 니켈, 코발트가 포함되어 있다. 가전제품의 배터리는 전기차 배터리에 비해 코발트가 더 많이 포함된 경향을 보인다.

레드우드의 제조 부문 부사장 앤디 해밀턴(Andy Hamilton)은 앞으로 더 많은 소재를 다루게 되면 수작업 분해가 이상적이지 않을 것이라고 말한다. 레드우드는 이 분해 과정을 자동화하고 싶어 하지만, 회사가 활용하는 다양한 배터리를 분해할 수 있는 자동화 시스템을 구축하는 것은 쉽지 않을 것이다.

수작업으로 분류 및 분해된 배터리들은 여전히 전력을 품고 있을 수 있다. 하소(calcination) 공정이 필요한 이유다. 배터리들은 컨베이어 벨트에 올려져 4개의 거대한 공간 중 하나로 보내진다. 여기서 고온으로 가열해 배터리를 완전히 방전시키고 용매를 제거하는 하소 공정이 진행된다.

이후 배터리는 가루 상태로 부서지고, 이 가루들은 개별 소재로 분리되기 위해 습식제련 공정을 거치게 된다.



레드우드는 2021년 말부터 배터리 소재 생산시설을 건설하기 시작했다. 이 시설은 2025년까지 100만 대의 전기차에 배터리에 사용될 수 있는 충분한 양의 소재를 생산할 수 있을 것이다.



레드우드사는 미국 네바다주 리노 외곽에 위치한 새로운 시설에서 동박을 생산할 계획이다. 배터리 제조사인 파나소닉으로의 납품은 12월로 예정되어 있다.



에너지 저장 시스템에서 나오는 대형 배터리들은 재활용하기 전에 수작업으로 분해해야 하는 경우가 많다.

미국 캘리포니아 대학 데이비스 캠퍼스(University of California, Davis)에서 에너지 시스템 연구원으로 일하는 알리사 켄달(Alissa Kendall)은 최근의 기술 발전에도 불구하고 재활용은 배터리 소재의 수요를 따라가지 못할 것이라고 예상했다. 배터리의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있기 때문이다. 배터리 재활용은 2050년의 니켈과 리튬 공급의 최대 절반 정도밖에 차지하지 못할 것이다.

그러나 배터리 화학 기술이 발전하면서 그 비중은 코발트의 경우처럼 변화할 수 있다. 오늘날 전기차 배터리는 과거에 비해 코발트를 더 적게 사용하고 있고, 배터리 셀 제조사들은 계속해서 고가의 금속 소재를 사용하는 비중을 줄이기 위한 방법을 찾아내고 있다. 켄달은 결과적으로 재활용된 코발트가 2040년까지 요구되는 공급량의 85%를 차지할 수 있게 될 것이라고 말했다.

배터리 재활용은 광산 채굴을 통한 소재의 공급을 완전히 대체할 수 없다. 그러나 광산 채굴의 필요성을 낮춤으로써 새로운 배터리 생산의 사회적 및 환경적 부담을 줄여준다. 배터리에 사용되는 대부분의 금속 소재들은 아프리카, 아시아, 중앙 및 남아메리카에서 채굴된다. 국제에너지기구(International Energy Agency)에 따르면 이 지역에서의 채굴은 심각한 공기와 수질 오염은 물론 강제 노동 및 아동 노동을 포함한 인권 침해 문제와도 연관되어 있다.

해일처럼 몰려올 배터리 수요

일부 배터리 재활용 회사들은 배터리 소재 자체가 재활용 비용을 상쇄할 정도로 충분히 가치 있기 때문에 재활용 업계에 많은 정책적 지원이 필요하지 않다고 주장한다. 그러나 최근 미국의 정책 변화는 레드우드와 같은 재활용 회사들에 힘을 실어주고 있다.

레드우드의 제조 공장은 미국에 있기 때문에 최근 통과된 인플레이션 감축법(IRA)을 통해 생산 세액 공제를 받을 수 있다. 그리고 인플레이션 감축법은 레드우드와 같은 회사들이 제조한 원료에 대한 수요를 유도할 것이다. 차량 당 최대 7,500달러의 세액 공제 혜택을 받으려면 자동차 제조사들은 미국 또는 미국과 자유무역 협정(FTA)을 체결한 국가들에서 소재를 조달해야 하고 그 국가들의 영토 내에서 배터리를 제조해야만 한다.

비평가들은 새로운 광산 개발에 10년이 걸리기 때문에 자동차 업계가 정부의 전기차 세액 공제 일정을 맞출 수 없다고 우려했다. 그러나 재활용 시설은 광산보다 빨리 만들 수 있다. 일부 재활용 시설은 배터리 및 자동차 제조사가 최대한 세액 공제를 받을 수 있는 방법으로 재활용 공정을 진행하고 있다.

미국뿐만 아니라 다른 나라들의 정부도 배터리 재활용을 활성화하기 위해서 추가적인 규제를 고려하고 있다. 최근 유럽에서는 배터리의 수명이 다했을 때 배터리 제조사가 책임을 지도록 요구하는 조항을 포함한 법안이 제안되었다. 유럽연합은 새로운 배터리에 일정 비율의 재활용 소재를 사용하도록 하는 규정을 고려하고 있다.

아직도 단기적으로 보면 재활용에 필요한 배터리의 수량이 부족할 것이다. 향후 수십 년 동안은 회수할 수 있는 폐배터리의 수량이 많지 않을 것으로 예상된다. 현재 소수의 전기차만이 폐차되었기 때문이다.



레드우드는 다른 재활용 회사들과 다른 길을 걷고 있다. 레드우드는 회수한 소재를 가공 업체에 보낼 필요 없이 직접 배터리 제조사에 판매할 수 있는 부품을 제조할 계획이다.

REDWOOD MATERIALS

최근 레드우드가 회수한 물건들의 약 절반은 실제 제품에 활용되지 못했다. 품질 검사를 통과하지 못한 조립 및 충전된 배터리부터, 분해 과정에서 금속 시트에 남은 것까지 다양하다. 매일 두 대의 세미 트럭이 테슬라와 파나소닉 기가팩토리의 제조공정에서 남은 스크랩을 싣고 레드우드의 시설에 도착한다.

레드우드는 스트로벨이 말한 “실용적인” 선택으로서 광산에서 채굴된 새 금속들도 제품에 사용하고 있다. 양극활물질 첫 생산분의 니켈과 리튬은 재활용에서 30%가 공급되며, 나머지는 채굴을 통해 공급될 것이다.

스트로벨은 배터리 수요가 해일처럼 몰려오는 미래를 준비하는 것으로 이를 위해 오늘날 재활용 공정을 최적화하는 것이라고 설명했다.

배터리 재활용 업계의 미래

현장에서 공사가 계속되는 동안 기자는 네바다주의 주도 카슨시티에 있는 레드우드의 본사로 향했다. 레드우드의 과학자들은 아직도 습식제련 공정을 실험하고 있었다.

1990년대 후반부터 연구자들은 리튬이온 배터리 소재에서 금속을 회수하기 위해 화학 기술을 사용하는 연구를 진행해왔다. 특히 중국 기업들은 정부의 지원에 힘입어 광범위한 재활용 센터 네트워크를 구축하는 등 가장 빠른 움직임을 보이고 있다.

그러나 배터리에서 값어치 있는 금속들을 높은 수준으로 회수할 수 있는 시스템을 설계하기는 쉽지 않다. 특히 리튬은 회수가 어려운 금속으로 알려졌다. 스트로벨은 레드우드가 집중하고 있는 4가지 소재 중 코발트, 구리, 니켈의 회수율이 100%에 가깝고 리튬의 경우에도 80%에 달한다고 설명했다.

그러나 실험실을 벗어난 실제 환경에서는 복잡한 문제들이 발생할 수 있다.

레드우드의 습식제련 공정 책임자 메리 루 린드스탐(Mary Lou Lindstrom)는 카슨시티의 연구소로 나를 안내했다. 이 공간은 마치 수제 맥주를 제조하는 시설 같았다. 큰 동굴 같은 공간에 스테인리스 스틸 장비들이 고르게 분포되어 있었다. 연구원들은 컴퓨터와 대형 금속 탱크 주위에 옹기종기 모여 있었다.

린드스탐은 연구원들이 상업용 동박의 첫 생산분의 원료를 만들고 있다고 말했다. 동박의 생산은 앞으로 몇 주 내 시작될 예정이고 파나소닉으로의 납품은 12월로 예정되어 있다.

폐쇄 루프 배터리 생태계에 대한 스트로벨의 미래 비전에는 아직 한 가지 절차상의 문제가 남아있다. 지금까지 레드우드가 동박의 소재로 사용한 구리는 배터리가 아닌 산업용 구리 스크랩에서 회수했다. 레드우드는 향후 파나소닉이 새 배터리 셀 제조에 사용할 동박에는 배터리에서 회수한 소재를 최소 일부라도 활용할 수 있게 되길 바란다. 그러나 산업용 구리 스크랩은 공급 예측이 용이한 장점이 있다.

이것은 배터리 재활용 회사들이 직면하게 될 잠재적 문제 중 하나다. 그들은 예측 불가능한 공급 문제를 해결하면서 높은 품질의 제품을 안정적으로 제공해야 한다. 배터리 재활용 회사들이 소재를 놓고 경쟁하는 상황이 벌어진다면 상대적으로 힘이 약한 스타트업들은 생존을 위해 이상적이지 않은 소재를 사용해야 할 것이다. 결국 이 상황은 업계 전체의 문제로 확대될 수 있다.

현재 레드우드는 작업이 용이한 스크랩과 채굴된 소재로 공정을 보완할 수 있다. 그러나 폐배터리의 수량이 증가하고 광산에서 채굴되는 리튬의 공급이 부족해지면 재활용 회사들은 어려운 상황을 맞이하게 될 것이다.

스트로벨은 “지속가능성 문제를 해결할 수 있는 몇 가지 방법이 있는데, 전기 동력으로의 전환과 배터리 사용이 그중 하나다. 나는 내 커리어의 대부분을 이를 지지하고 추진하는 데 사용했다”라고 말했다.

“또한 나는 배터리 관련 업무에 엄청난 시간을 투자했다”라고 그는 덧붙였다.

오늘날 전기차 및 전기 운송수단의 사용은 실용적인 선택이 되고 있다. 전 세계 국가에서 전기차를 구입하고 이용하는 데 드는 비용은 기존 내연기관 차량들에 비해서 적다. 이는 기후변화에 좋은 소식이다. 대부분의 전기차가 차량의 수명 내 배출하는 온실가스는 내연기관 차량의 것보다 훨씬 적을 것이다.

전기차의 미래 약속을 이행하기 위해서는 실용적이고 경제적인 배터리 재활용이 주요 과제가 될 것이다. 폐배터리의 공급은 안정화되는 데 시간이 필요할 수 있다. 그러나 재활용 업계는 전기차의 새로운 비전을 실행하기 위해 다가올 미래를 준비 중이다. 향후 수십 년에 걸쳐 꾸준한 진보와 혁신이 이루어질 것이다. 폐배터리로 가득 찬 레드우드의 주차장은 그 시작에 불과하다.



레드우드사는 수집한 배터리로부터 코발트, 리튬, 니켈과 같은 가치 있는 금속들을 회수하기 위해 습식제련이라 불리는 공정을 사용한다.

REDWOOD MATERIALS

* 케이스 크라운하트(Casey Crownhart)는 MIT 테크놀로지 리뷰의 에너지 및 기후 부문 전문 리포터이다.