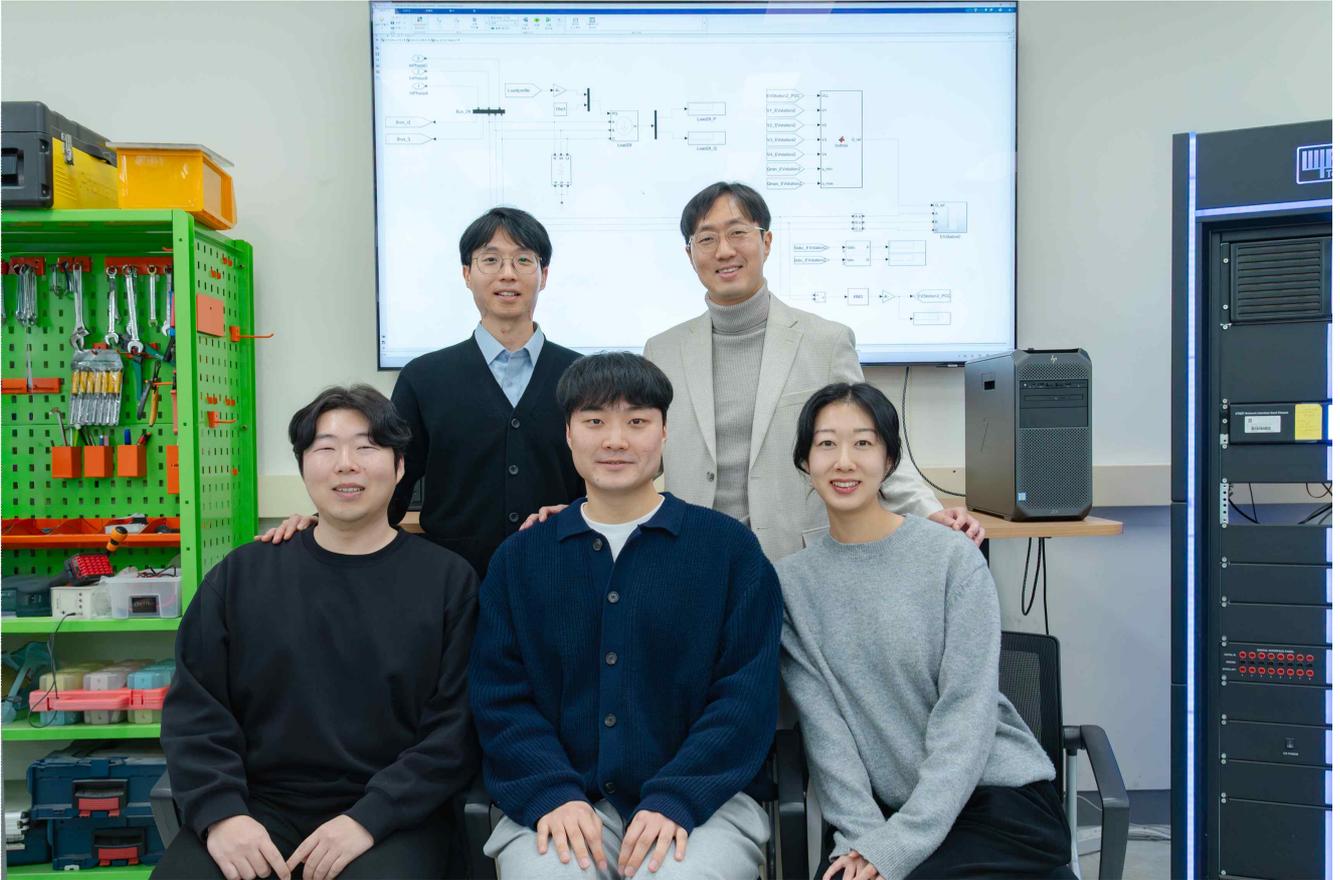


GIST, 전기차 수천 대 묶어 하나의 전력 자원으로 사고파는 '가상 배터리' 기술 개발

- 전기전자컴퓨터공학과 김윤수 교수팀 민감 정보 없이 전기차를 '가상 배터리'로 통합해 전력시장 입찰과 개별 차량 단위 충방전까지 정확히 구현하는 군집 제어 기술 개발
- 5천 대 규모에서도 적용 가능... 최대 14.9% 비용 절감, V2G 상용화 기대
- 교통 과학기술 분야 세계 최고 권위 학술지《eTransportation》게재



▲ (왼쪽 상단부터) 전기전자컴퓨터공학과 박완호 박사과정생, 김윤수 교수, 고성혁·황준벽·황진솔 박사과정생

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 전기전자컴퓨터공학과 김윤수 교수 연구팀이 여러 대의 전기차(EV)를 묶어 하나의 '배터리'처럼 활용하면서 실제 전력시장 거래까지 가능하게 하는 '강건한 가상 배터리(Robust Virtual Battery)' 모델을 개발했다고 밝혔다.

이번 기술은 개별 차량의 배터리 상태나 용량 정보를 알지 않아도 전력 운용이 가능할 뿐 아니라, 수립된 전력 계획을 실제 각 차량에 정확히 나눠 실행할 수 있도록 보장한다는 점에서 기존 기술의 한계를 극복했다.

이에 따라 전기차를 전력망과 연결해 활용하는 전기차-전력망 연계기술(Vehicle to Grid, V2G)*의 상용화를 앞당길 것으로 기대된다.

* 전기차-전력망 연계기술(Vehicle to Grid, V2G): 전기차를 전력망과 연결해 전기차 배터리의 남은 전력을 전력망에 공급하거나 필요 시 전력망으로부터 충전하는 기술이다.

최근 전기차 보급이 급증하면서 전기차는 단순한 이동수단을 넘어 전기를 저장하고 공급하는 '이동형 발전소', 즉 분산에너지자원(DER)*으로 주목받고 있다.

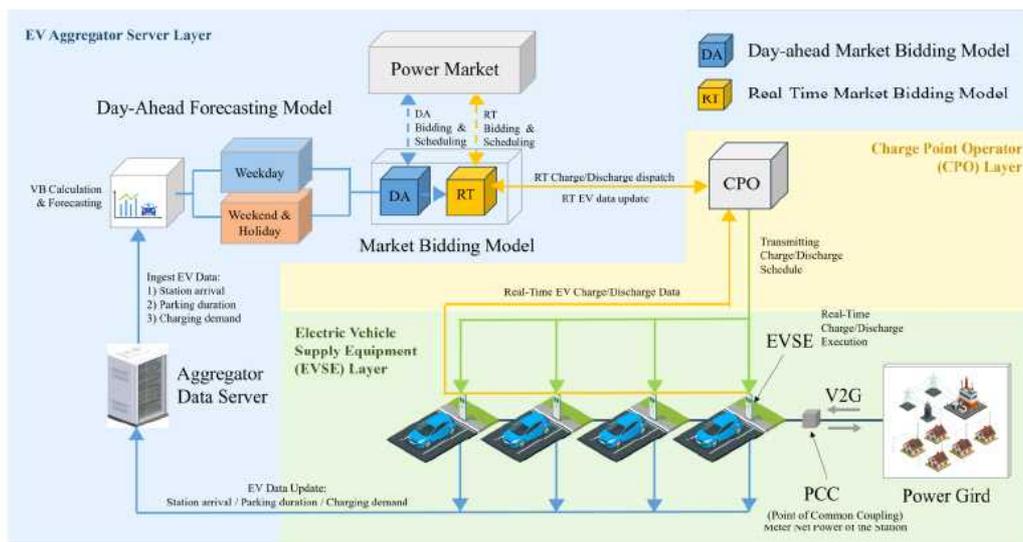
그러나 전기차는 태양광이나 발전소와 달리 이동성이 크고 차량마다 배터리 용량과 상태가 달라, 여러 대를 하나로 묶어 안정적으로 운영하기 어렵다는 한계가 있었다.

특히 기존 기술은 전체 전력 계획을 세우더라도 이를 개별 차량에 나눠 적용하는 과정에서 오차가 발생해, 계획과 실제 운용이 일치하지 않는 문제(개별 차량으로 실제 나눠 실행할 수 있는 '분배 가능성(disaggregation* feasibility)'이 확보되지 않는 문제)가 있었다.

또한 차량별 배터리 상태와 이용 데이터를 수집해야 해 개인정보 유출 우려도 제기돼 왔다.

* 분산에너지자원(Distributed Energy Resource, DER): 에너지를 생산하거나 저장, 활용하는 소규모 에너지 자원을 의미한다. 태양광, 풍력 발전, 에너지 저장 장치(ESS), 전기차(EV) 등이 대표적이다.

* 분배(Disaggregation): 통합된 가상 배터리의 전체 전력 계획을 각 전기차가 실제로 충·방전할 수 있는 개별 명령으로 나누는 과정이다. 이때 각 차량의 충전 가능 시간과 연결 상태, 제약 조건을 고려해 전체 계획과 실제 운용이 일치하도록 할당한다.

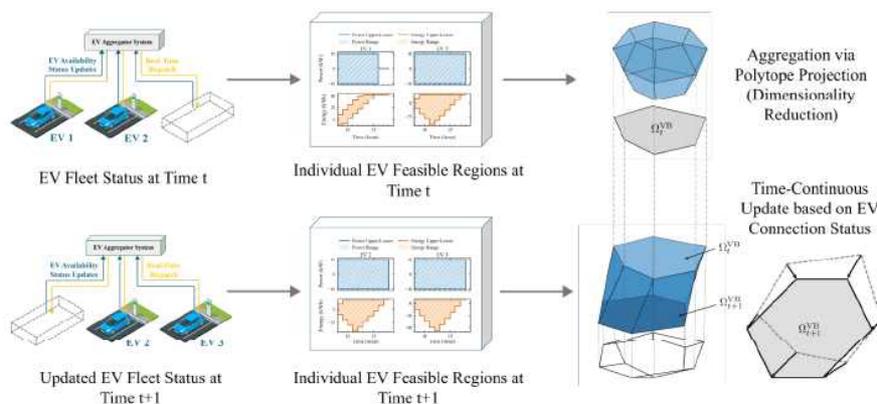


▲ 전력 시장 참여를 위한 전기차 통합 가상 배터리 프레임워크. 전기차 통합 관리 시스템이 충전소 및 충전기와 실시간으로 정보를 교환하며 전력 거래 시점을 결정하는 과정이다.

연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해, 여러 대의 전기를 하나의 집합으로 묶어 '가상 배터리(Virtual Battery, VB)'로 표현하는 수학적 모델을 제안했다.

이 모델은 개별 차량의 복잡한 배터리 상태를 일일이 계산하지 않고, 전체를 하나의 큰 배터리처럼 간주해 전력 저장·공급 가능 범위를 한 번에 계산한다.

이를 통해 계산해야 할 경우의 수를 크게 줄여 짧은 시간 안에 전력 공급 가능량을 산출하고, 목표 충전량과 충전기 연결 시간이라는 최소한의 정보만으로 전력 운용이 가능하도록 했다. 또한 전체 전력 계획이 개별 전기차의 실제 충·방전으로 오차 없이 구현될 수 있음을 수학적으로 입증해 기존 방식의 한계를 극복했다.



▲ 개별 전기차를 하나로 묶은 실시간 가상 배터리 구성도. 여러 대의 전기차가 가진 각각의 배터리 여유 공간을 하나로 합쳐 시간에 따라 크기가 변하는 커다란 '가상 배터리' 한 개로 만드는 과정을 시각화했다.

이렇게 구성된 가상 배터리는 실제 전력시장에서도 활용될 수 있다.

여러 대의 전기차를 하나로 묶으면, 하루 전 전력시장과 실시간 전력시장에 참여해 전력 수요와 가격에 따라 공급·저장 전략을 자동으로 수립할 수 있다.

이를 통해 전력 수요가 높은 시간대에는 전기를 공급하고, 전력이 저렴할 때는 저장해 활용하는 등 정밀한 전력 수급 조절과 시장 대응이 가능해진다.

연구팀이 8개월간 수천 대의 전기차 데이터를 바탕으로 전력 시장 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존 방식보다 운영 비용을 최소 8.8%에서 최대 14.9%까지 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 5,000대 규모의 대규모 전기차 집합에서도 빠른 연산 속도로 전력시장 참여가 가능해, 실제 전력망 적용 가능성과 확장성을 입증했다.

특히 전체 전력 계획과 실제 차량 운용 간 오차가 매우 작아, 이론적 모델이 실제 환경에서도 정확히 구현될 수 있음을 확인했다.

김윤수 교수는 "이번 연구를 통해 대규모 전기차를 하나의 신뢰성 있는 전력 자원으로 활용할 수 있는 기반을 마련했다"며, "시장 계획과 실제 개별 전기차 운용 간 차이를 줄여 전기차-전력망 연계기술(V2G) 상용화를 앞당기고, 전력망의 유연성과 안정성을 높이는 데 기여할 것"이라고 말했다.

GIST 전기전자컴퓨터공학과 김윤수 교수가 지도하고 박완호·황진솔·고성혁·황준벽 박사과정생이 수행한 이번 연구는 **현대자동차그룹의 지원**을 받았다.

연구 결과는 **교통 과학·기술 분야 세계 최고 권위 학술지 《eTransportation》**(국제 학술지 영향력 지수(JCR Impact Factor) 1위)에 **2026년 3월 9일 온라인으로 게재**됐다.

한편 GIST는 이번 연구 성과가 학술적 의의와 함께 산업적 응용 가능성까지 고려한 것으로, **기술이전 관련 협의는 기술사업화실(hgmoon@gist.ac.kr)을 통해 진행**할 수 있다고 밝혔다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : eTransportation (IF: 17, 2024년 기준)
- 논문명 : Robust virtual battery optimization for EV fleet aggregation: Operational feasibility in day-ahead and real-time markets
- 저자 정보 : 박완호(제1저자, GIST), 황진솔(제2저자, GIST), 고성혁(제3저자, GIST), 황준벽(제4저자, GIST), 김윤수(교신저자, GIST)