



자동차 배터리 개발 동향과 CO₂ 배출 저감

Yasuo Ishiguro

Yasuo Ishiguro
Former Senior General Manager of Toyota Motor Corporation

배터리 개발에 대한 성찰

2000년, 저는 퓨얼 셀(연료 전지)과 리튬 이온 이차 배터리의 개발에 초점을 맞춰 Toyota 내에 BRFC 생산 기술 부서를 설립하였습니다. 당시, 본질적으로 두 기술 모두 전기화학적 특성이 있어 자동차 제조회사는 거리가 있었습니다. Toyota가 다루어 본 적이 없는 소재, 부품 및 구조가 포함돼 있어 초기 단계에 설계 도면을 작성하는 것이 불가능하였습니다. 설계 도면 없이는 제조 자체가 불가능하였지만, 제조 없이 설계 도면을 만드는 것 역시 불가능하므로 우리는 “닭이 먼저인가, 달걀이 먼저인가”와 같은 딜레마에 빠져 있었습니다. 그러나 우리는 기본적인 원칙을 연구하면서 마음에 떠오르는 대로 마구잡이로 만들기 시작했고, 그 과정을 끊임없이 반복하였습니다.

오래지 않아 퓨얼 셀이 차세대 차량에 있어 필수적인 구성 요소로 인정받게 되었습니다. 회사 내에서 퓨얼 셀 개발에 참여한 엔지니어의 수는 1,000명을 넘었고, 개발을 위한 노력은 수십억 엔에 달하는 투자로 확대되었습니다. 개발팀 역시 성공할 때까지 도전하기 위하여 전적으로 헌신하고 끈기 있게 노력해야 할 필요가 있다는 사실을 이해하였습니다. 자동차는 30°C~80°C 사이의 가혹한 온도 환경하에서 작동할 수 있어야 하고, 수십 년에 달하는 긴 수명이 요구됩니다. 더구나, 각 차량에는 수백 개의 독립적인 셀이 포함되고, 핸드폰과 같은 장치보다 수십 배 더 높은 수준의 신뢰성이 요구됩니다. 또한, 퓨얼 셀의 핵심 부품인 전해질 멤브레인(막)은 셀로판테이프나 플라스틱 랩처럼 매우 얇지만 엔진 블록과 같이 수십 년 동안 그 성능을 유지할 수 있어야 합니다. 그러나 일단 주요 과제가 분명하게 확인된 후, 관련 부서뿐 아니라 일본 내외에 있는 연구 기관 및 대학들이 강력히 지원하였습니다. 점차 다양한 기계, 화학 및 물리적 관점에서 기술적 요구사항이 충족될 때까지 많은 문제들이 해결되었지만, 비용 부분은 예외였습니다. 돌이켜보면, “백지장도 맞들면 낫다”는 격언이 떠오릅니다. 수많은 아이디어가 쏟아져 나왔고, 이루어진 성과는 내가 상상했던 정도를 훨씬 뛰어넘게 되었습니다.

너무나 많은 난관으로 인하여 포기하고 싶은 순간들이 많았고, 심지어 차라리 개발을 중단하는 것이 회사에 대한 최선의 이익이 될 수 있다고 제안할 뻔한 적도 있었습니다. 그러나, 돌이켜보면, 그렇게

하지 않은 것이 매우 잘한 일이라고 생각합니다. 개발을 중도에 포기하는 경우 모든 것이 멈추게 된다는 사실을 직접 경험하며 깨닫게 되었습니다.

퓨얼 셀 차량은 지구상에 풍부하게 존재하는 수소와 산소를 결합하여 효율적으로 전기를 생성하며, 부산물로는 오직 물만 배출하게 됩니다. 이러한 차량은 CO₂를 전혀 배출하지 않기 때문에 이상적인 형태의 운송 수단이라 할 수 있습니다. 이러한 본질적인 장점이 초기부터 우리가 가지고 있던 개발에 대한 동기를 꾸준히 유지할 수 있는 핵심적인 이유였습니다.

2002년 12월, 우리는 프로토타입의 퓨얼 셀 차량을 리스용으로 소개했으며, 2014년에는 최초의 양산형 퓨얼 셀 차량을 시장에 성공적으로 출시하였습니다. 마찬가지로, 리튬 이온 배터리도 소재, 부품 및 제조 방법에 있어 꾸준한 발전을 이루었고, 결국 차량에 탑재할 수 있을 정도의 수준에 도달하게 되었습니다. 이에 따라 차량의 전동화가 현실적인 옵션이 되었습니다. 그러나, 리튬 이온 배터리는 개인용 컴퓨터, 핸드폰, 항공기 및 자동차를 포함한 다양한 분야에서 화재와 관련이 있다는 문제점을 내포하고 있었습니다. 배터리 내부에서 오작동이 발생하는 경우 내부 전해질의 온도를 높여 열분해의 원인이 됩니다. 이는 음극과 양극 사이에서 발열 반응을 촉발하게 되고, 이러한 반응이 연쇄적으로 이어지면서 결국 연소로 이어질 수 있습니다.

이러한 이유로 인하여 차세대 배터리 기술로서 전고체 배터리가 등장하게 되었습니다. 가연성 높은 액체 전해질을 고체 전해질로 대체하면 연소 가능성이 크게 줄어들게 되고 보다 안전한 배터리를 만들 수 있을 것이라는 아이디어에서 연구 개발이 시작되었습니다. 우리는 불연성 특성을 바탕으로 기존의 액체 기반 배터리의 성능을 증가하는 목표에 달성하기 위해 집중하였습니다. 우리는 작은 코인 셀을 사용하여 테스트하면서 극한의 고온 환경에 노출되었을 때조차도 완전히 손상을 입지 않은 상태를 유지한다는 사실을 확인하였습니다. 성능 또한 액체 기반 배터리와 비교할 만한 수준에 도달하였고, 중형 셀 프로토타입의 개발을 진행하였습니다. 그러나 발화 테스트에서 이 셀들 세 개 중 하나에 불이 붙었습니다. 우리는 테스트에 결함이 있다는 가정하에 표본의 수를 늘렸지만, 이들 중

다수의 표본에 불이 붙는다는 사실만 확인할 수 있을 뿐이었습니다. 이는 정말로 낙담스러운 일이 아닐 수 없었습니다. 우리는 불연성 소재를 사용하면 배터리가 본질적으로 불연성이 될 것이라고 가정했지만, 실제로는 그렇지 않았습니다. 높은 에너지의 배터리가 단락되면 온도가 국지적으로 빠르게 수백 °C를 초과할 수 있습니다. 그러한 극한의 온도에서는 불연성 소재라 할지라도 발열 반응을 경험할 수 있습니다. 오늘날, 현재의 리튬 이온 배터리보다 훨씬 더 내화성이 좋고, 주행 거리는 더 길며, 충전 시간은 더 짧은 배터리가 개발되고 있습니다.

다양한 자동차 기술(다원적 접근 방식)

최근 몇 년 동안, 자동차 산업은 SDG(Sustainable Development Goals-지속 가능한 개발 목표)가 주도한 백 년에 한 번 있을 만한 대변혁을 경험하고 있습니다. 현재 EV(electric vehicles-전기차), 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 퓨얼 셀 및 e-퓨얼 차량을 포함하여 다양한 종류의 차량이 공존하고 있습니다. 한 때, 자동차 산업은 완전한 전동화에 전념하는 듯하였지만, 그 모멘텀은 점차 둔화하기 시작하였습니다. 주요한 요인 중 하나는 보조금의 축소입니다. 또 다른 이유는 얼리 어답터가 이미 첫 구매 물결을 완료하였다는 점입니다. 미국, 독일, 중국 및 노르웨이와 같은 국가는 BEV(battery electric vehicle-배터리 전기차) 당 약 100만 엔의 보조금을 제공해 왔지만, 이러한 보조금이 중단되면 수요는 급격히 감소하게 됩니다. 기업이 다수의 회사 차량을 구매하여 직원들에게 제공하는 독일과 같은 일부 국가들은 다소 상황이 다를 수 있지만, 대다수의 구매자에게 있어 차량 선택은 여전히 개인의 결정이고, 따라서 보조금의 중단은 판매에 큰 영향을 미치는 것이 당연한 일입니다. 사용자 관점에서 EV는 여전히 몇 가지 단점이 존재합니다. 이러한 단점에는 제한된 주행 거리뿐 아니라 긴 충전 시간, 휘발유 차량에 비해 부족한 비용적 이점, 빠른 배터리 성능의 저하 및 화재에 대한 더 높은 위험 등이 포함됩니다.

LCA(life cycle assessment-전 과정 평가) 관점에서, EV가 항상 친환경적인 옵션이 아닐 수도 있는데, 그 이유는 그 영향력이 전기차를 충전하는 데 사용되는 전력이 어떻게 생산되는지에 달려 있기 때문입니다. 실제로 유럽에서 전기차 보급을 선도하던 독일의 한 기관은 CO₂를 가장 효과적으로 감소시킬 방법을 분석한 바 있습니다. FVV(Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V.- 내연기관 연구협회)는 내연기관 분야에 대하여 전문성 있는 170개의 기업과 110개의 연구 기관으로 구성된 컨소시엄입니다. 이들은 2040년까지 지구 온난화를 1.5°C 이하로 제한하고 CO₂의 누적 배출량을 400Gt 이하로 유지하기 위해 어떤 종류의 차량을 언제 도입해야 하는지 결정하기 위해 LCA(life cycle assessment-전 과정 평가) 작업을 수행하였습니다. 이 연구는 차량 운행 중 배출되는 CO₂만을 평가하는 것이 아니라, 연료의 생산, 원자재 추출, 가공, 부품 및 장치의 제조, 그리고 수명 종료 후 재사용 및 재활용을 포함한 전체 생애 주기를 고려하였습니다. 그들의 중간 연구 결과에 따르면, EV가 일부 장점을 가질 수는 있지만 그 영향력은 별로 크지 않은 편이며 오히려 전력의 생산 방식에 크게 의존적이라고 합니다. 더구나 EV 보급이 가속화된다고 하더라도 그 영향력이 기후 목표를 충족하기에 아주 크지 않거나 빠르지 않을 것이라고 하였습니다. 그 대신 이 연구는 기존의 휘발유 차량 이외에 e-퓨얼로 구동되는 차량, 퓨얼 셀 차량 및 수소 차량을 동시에 추진해야 의미 있는 CO₂ 감소를 구현할 수 있다고 결론짓고 있습니다. 이러한 결론은 놀라운 것이 아닙니다. 현재 전 세계적으로 13억대 이상의 차량이 운행 중이며, 공격적으로 EV를 보급한다고 할지라도 이를 대체하는 데에만 최소한 10년 이상 걸릴 것입니다. 보다 즉각적이고 실질적인 해결책은 기존의 휘발유 차량에 e-퓨얼 혼합 연료를 도입하는 것입니다. 그러나, e-퓨얼 역시 상당한 도전에 직면해 있습니다. 여전히 대량 생산 설비가

부족하고, e-퓨얼의 비용은 휘발유의 두 배 이상인 상황입니다. 더욱 광범위하게 적용하기 위해 반드시 이 두 가지 문제를 해결해야 합니다. 현재로서는 소비자와 자동차 제조업체 모두 불확실한 상황에 부딪혀 있다는 느낌을 떨쳐버릴 수가 없는데, 이는 정부가 지나치게 주도권을 잡고 시장의 혼란을 초래했기 때문입니다. 소비자의 구매 성향이 급격히 변화하면서 자동차 제조업체들은 크게 전략을 수정할 수밖에 없었으며, 일부 기업들은 최근 몇 달 동안 그 방향을 대대적으로 변경하기도 하였습니다. 그 결과 차량의 판매 및 생산에 대한 단기 예측조차 매우 어려워진 상태입니다.

이러한 상황 가운데, 현재 급속히 확산하고 있는 다양한 차량의 특성과 포지셔닝에 대하여 간략히 언급하고자 합니다.

먼저 하이브리드 차량은 탁월한 연료 효율성을 제공할 뿐 아니라 한 번의 연료 완충으로 약 1,500km를 주행할 수 있습니다. 이 차량은 전기 모터만을 사용하여 늦은 밤 이동을 방해하지 않으면서 조용히 주행할 수 있고, 일반적인 차량에 비해 주유 횟수가 더 적습니다. 이 차량은 주로 휘발유에 의존한다는 사실을 제외하면, 많은 장점을 가지고 있습니다. PHV(Plug-in hybrid vehicles-플러그인 하이브리드 차량)은 일반 하이브리드 차량보다 배터리 용량이 5~20배 더 크기 때문에 자주 이동하는 거리에서는 전기만으로 주행할 수 있다는 점이 재평가되고 있습니다. 그러나 집에서 충전 케이블을 연결하고 출발 전에 분리해야 하는 불편함으로 인하여 많은 사용자들이 충전을 꺼리는 경향이 있고, 결국 휘발유에만 의존하게 되는 경우가 많습니다. 비록 이러한 차량을 정부의 보조금을 받아 구매하였다 하더라도 의도한 바에 따라 사용하지 않는다면 CO₂ 감소에 기여하지 못하게 되고, 따라서 무선 충전 시스템을 조속히 개발하는 것이 매우 바람직한 상황입니다. 다음으로 FCV(fuel cell vehicle-퓨얼 셀 차량)는 성능 및 기능 측면에서 사용자 만족도가 높습니다. 한 번 충전 시 주행 거리가 800km에 달하고 연료 충전 시간은 3분에 불과하므로 편의성 측면에서 EV를 능가합니다. 그러나 수소 인프라의 구축 비용이 많이 들고 충전소 보급 속도가 느려 널리 확산하는데 장애가 됩니다. 현재 퓨얼 셀 차량의 가격은 여전히 높은 상태이지만 대량 생산을 통해 다른 차량과 비교할 만한 수준이 될 것으로 예상됩니다.

이와 같이, 다양한 동력원을 가진 차량들이 지속적으로 개발되고 개선되어 각각의 특별한 도전을 해결해 나가게 될 것입니다. 각 국가는 EV에만 집중하는 성급한 결정을 내리기보다 당분간 다각적인 접근 방식을 동시에 고려하는 것이 중요하고, 결국 궁극적으로 자연스럽게 이러한 방향으로 나아가게 될 것으로 믿습니다.

다시 배터리로 돌아가면, 리튬 이온 배터리, 전고체 배터리 및 퓨얼 셀 모두 에너지 관리를 위한 도구로서의 역할을 수행하고 있고, 그 적용 가능성은 매우 넓습니다. 향후 배터리 재사용, V2G(vehicle-to-grid) 기술 및 충전소와 같은 새로운 분야가 지속적으로 확장될 것은 분명한 사실입니다.

Yokogawa Electric Corporation이 자체 기술력을 최대한 활용하여 새로운 배터리 관련 사업 분야에서 확고한 입지를 다질 것을 진심으로 기원합니다.

참고문헌

- (1) Dr.-Ing. André Casal Kulzer, "Potential for eFuels as a drop-in replacement for ICE," ASME ICEF2022 Internal Combustion Engine Fall Conference, <https://event.asme.org/Events/media/library/resources/icef/ICED-Webinar-Sustainable-Powertrain-Systems.pdf>, (accessed 2024-12-19)

* All company names, organization names, product names, service names, and logos that appear in this paper are either registered trademarks or trademarks of Yokogawa Electric Corporation or their respective holders.