

MOBILITY INSIGHT

2023
6월호

COVER STORY

e-fuel, 미래대체연료로의 가능성은

- 스페셜 컬럼** 모빌리티 탄소중립을 위한 e-fuel의 역할,
그리고 미래를 위해 무엇을 준비해야 하는가?
- 정책동향** 탈석유시대, e-fuel 산업육성을 위한 국·내외 정책동향
- 트렌드 리뷰** 화석연료 대신 넣을 미래대체연료 찾기 위해 '분주'





MOBILITY INSIGHT

2023 06월호



스페셜 컬럼
박성호 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터 책임연구원



정책동향
강민수 한국에너지공단 신재생정책실 과장



트렌드 리뷰
박상우 딜사이트 기자

CONTENTS



모빌리티 인사이트 6월호

www.katech.re.kr

발행인: 나승식

발행처: 한국자동차연구원

충청남도 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303
TEL_041. 559. 3114 / FAX_041. 559. 3068

편집/디자인: 브랜드캐스트(주) TEL_02. 2661. 6786

※ 본 "모빌리티 인사이트"에 실린 보고서는 연구진이나 집필자의 개인적인 견해이므로 한국자동차연구원의 공식적인 의견이 아님을 말씀드립니다.

Copyright(c) 2023 KATECH(Korea Automotive Technology Institute) All right reserved.

COVER STORY

e-fuel, 미래대체연료로의 가능성은

- 08 탄소중립, 전동화만으로는 이루기 힘든 목표
- 12 수송분야와 에너지산업 e-fuel 전망과 해외 e-fuel 산업 동향
- 16 국내 e-fuel 산업 현실과 글로벌 경쟁력 확보를 위한 전략



- 22 스페셜 컬럼
모빌리티 탄소중립을 위한 e-fuel의 역할, 그리고 미래를 위해 무엇을 준비해야 하는가?
박성호 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터 책임연구원
- 30 정책동향
탈석유시대, e-fuel 산업육성을 위한 국내의 정책동향
강민수 한국에너지공단 신재생정책실 과장
- 34 트렌드 리뷰
화석연료 대신 넣을 미래대체연료 찾기 위해 '분주'
박상우 딜사이트 기자
- 38 테크리뷰
재생합성연료(e-fuel) 산업 및 활용 기술 동향
권석주 한국자동차연구원 대체연료동력기술부문 책임연구원
- 46 생생 인터뷰 ①
가장 낮은 탄소함유 연료, 국내 DME산업의 리더, 바이오프랜즈
조원준 주식회사 바이오프랜즈 대표
- 52 생생 인터뷰 ②
국내 유일, LPG바이퓨얼(Bi-fuel)로 친환경 저배출연료시장 열어가는 로턴
박주창 주식회사 로 대표
- 58 산업분석 ①
로보택시의 현주소 및 주요 극복과제
전현주 한국자동차연구원 산업분석실 선임연구원
- 60 산업분석 ②
베스트셀러로 본 주요 완성차 시장 트렌드
양재완 한국자동차연구원 산업분석실 책임연구원
- 64 우수기술 소개
한국자동차연구원 우수기술 소개
- 68 이슈 & 키워드
미래대체연료 주요 키워드
- 70 모빌리티 인사이트 4월호 리뷰
글로벌 친환경차방향성 재조명, 일본 미래모빌리티 트렌드 제공
- 72 독자코너
모빌리티 인사이트 나침반

e-fuel, 미래대체연료로의 가능성은



탄소중립을 위한 탈석유시대가 본격화되고 있다. 자동차산업은 전기차를 대세로 미래자동차산업을 준비하고 있으나 실제 수송분야 전반을 놓고 보면 전동화만으로는 2050년 탄소중립 달성에 한계가 있다.

모빌리티 인사이트 6월호에는 자동차산업뿐 아니라 수송분야와 석유화학, 정유 등 산업전반에 걸쳐 미래대체연료로 주목받는 e-fuel 관련 전문가토론을 통해 국내외 산업 전반의 동향을 살펴보고 e-fuel 산업에 대한 인사이트를 제공하는 기회로 삼고자 한다.

SECTION 1 탄소중립, 전동화만으로는 이루기 힘든 목표

SECTION 2 수송분야와 에너지산업 e-fuel 전망과 해외 e-fuel 산업 동향

SECTION 3 국내 e-fuel 산업 현실과 글로벌 경쟁력 확보를 위한 전략



배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수



조준상 대한석유협회 산업진흥실 실장



윤육현 HD현대중공업 그린동력시스템연구실 실장



정재우 한국자동차연구원 대체연료동력기술부문 부문장



천동현 에너지기술연구원 탄소전환연구실 실장



김재현 현대자동차 터보엔진리서치랩 책임연구원

e-fuel이 화석연료를 대체할 수 있을까?

배충식 좌장
KAIST 기계공학과 교수

탄소중립 시나리오 늦었지만 현실감 갖춰

지난 3월 IEA(국제에너지기구)가 발표한 2022년 CO₂ 배출량보고서에 의하면 전체 CO₂ 배출량은 368억 톤으로 사상 최고치를 기록했고 2021년에 비해 0.9%(3억 2100만 톤) 증가한 것으로 나타났다. 특히 보고서는 전기차 도입으로 인해 감소한 탄소 배출량을 1,300만톤으로 추정했는데 그간 Net-Zero 2050 시나리오에 따라 각 정부에서 막대한 예산을 투입하며 적극적으로 추진한 노력에 비한다면 아쉬운 성과다. IEA는 그나마 증가폭이 적었다는 것을 주요 성과로 평가했다.

IEA의 Net-Zero 2050 시나리오는 기후위기에 대응하기 위한 목표로 인정받아 왔지만, 현실성에 대해 전문가들은 끊임없이 문제점을 제기해왔다. 이런 가운데 지난 3월 말 유럽연합의 e-fuel 내연기관차 배출 제외는 탄소중립 정책의 변화를 보여준 것으로 큰 의미를 부여할 수 있다. 15년간 움직이지 않을 것 같았던 Net-Zero 2050 시나리오에 새로운 변화가 가시화하기 시작한 것으로 이는 그동안 각 정부와 국가들의 전동화 정책의 한계를 인식하고 탄소중립을 향한 전략을 올바르게 수정하기 시작했다는 점에는 무척 반가운 일이다.

e-fuel 미래연료로 가능성 검증해야

우리 정부 역시 탄소중립 정책의 변화에 따라 2050 탄소 중립을 위해 내연기관 퇴출이 아닌 내연기관의 연료 전환으로 모색하기로 하고 지난 4월 부산 백스코에서 정부, 기업, 학계 등이 모여 국내 e-fuel 산업 발전방안을 논의하고 e-fuel의 국내 연구상황과 비전, 그리고 도입을 위한 정부 의지도 발표했다.

관련 학계의 한 사람으로 e-fuel을 전동화와 함께 탄소중립 주요 전략으로 인식한 것은 반가운 일이나 여전히 우리의 대응은 부족하다. 개인적으로 전동화 트랙과 함께 e-fuel을 추진했다면 지금 e-fuel은 상용 에너지로 자리 잡았을 것이다. 물론 지금도 늦지 않았다. 우리 기술과 국내 산업기반은 e-fuel을 꿈의 연료가 아닌 현실적인 대체연료로 만들 능력을 충분히 갖추고 있기 때문이다.

문제는 e-fuel에 대한 규제다. 당장 원료, 제조, 소비의 전 과정을 충족시킬 수 있는 제로배출 연료는 어디에도 없다. 그리고 이 점은 전동화 역시 마찬가지다. 오히려 e-fuel은 원료 이외에 제조와 소비 과정에서 폐배터리같은 또 다른 환경위험 요소조차 없다. 그런데도 우리 정책은 여전히 e-fuel에 대해서만 전과정 Net-Zero 충족이라는 가혹한 틀을 요구하고 있고 지원정책은 형평성이 부족하다.

한국은 이미 e-fuel 경쟁력 보유, 산학연이 모여 발전방향 모색해야

우리나라의 경제 규모는 이미 선도국가이다. 비단 경제 규모 외에 기술과 인프라 역시 마찬가지로 더 이상 선도국의 산업 트렌드를 쫓는 위치가 아니다. 이는 과거와 달리 우리의 성장 전략 역시 달라져야 함을 시사한다. 더는 주어지는 과제를 따라가는 전략으로 미래를 만들 수 없다. e-fuel 산업 역시 마찬가지다. 독일은 이번 유럽연합의 정책 발표 막바지에 e-fuel 카드를 꺼내 들었지만, 이는 독일 내부적으로 이미 e-fuel 산업 육성을 위한 공감대 있는 장기 전략을 갖고 있다고 보는 것이 올바른 판단일 것이다.

세계적인 자동차, 조선, 정유 강국인 우리나라는 e-fuel 산업에서 세계 어느 나라와 비교해도 손색없는 경쟁력을 갖추고 있고 글로벌 리더로 성장할 수 있다. 이를 위해 가장 먼저 선행되어야 할 과제는 우리의 잠재력을 100%, 200% 발휘할 수 있도록 하는 정책개산과 산·학·연 전문가의 의견을 바탕으로 공감대를 갖춘 전략을 수립·제시하는 일이다. 이렇게 만들어진 e-fuel 산업 육성전략은 코로나 이후 등장한 자국우선주의라는 위협적인 글로벌 동향에서도 자원빈국인 우리가 흔들림 없는 글로벌 산업강국으로 성장해 나갈 전략임을 확신한다.

오늘 좌담회에서는 산·학·연 전문가를 통해 Net-Zero 2050 시나리오의 변화와 국내·외 e-fuel 산업의 현황과 도전과제를 논의해 보고 e-fuel 산업 육성전략에 대한 인사이트를 제시함으로써 미약하지만 국내 e-fuel 산업의 발전에 기여하는 시간이 되길 기대한다.



탄소중립을 위한 전략 다양성 필요해
e-fuel 대체연료 중 하나로 가능성 있어
연구개발 아직은 한계, 정부 지원 부족에도
e-fuel 산업 육성 준비해야

Section 01

탄소중립, 전동화만으로는 이루기 힘든 목표

기후위기로 인해 탄소중립 목표는 수송산업의 탈탄소를 촉구했다.

그리고 수송분야 탈탄소 전략의 중심에는 전동화가 자리 잡고 있었다. 그러나 최근 전동화만으로 탄소중립을 달성하기는 어렵다는 의견이 광범위하게 확산되고 있으며 정책적으로 인정받고 있다. 그동안 추진해 왔던 전동화 올인의 문제점을 통해 극복할 전략인 e-fuel 산업의 도입을 위해 자동차, 선박, 항공 등 수송분야와 국내 에너지 산업의 현황에 대해 살펴봤다.

Net-Zero Emission 시나리오 전략의 변화

배충식 회장 KAIST 기계공학과 교수

IEA의 Net-Zero 2050 시나리오는 수송분야의 탄소중립 달성을 위한 전략으로 전동화를 제시해 왔다. 그간 여러 전문가와 학계의 의견에도 불구하고 전동화가 탄소중립을 위한 가장 효과적인 방법임을 IEA는 견지해왔는데 올초 IEA가 발표한 ETP(Energy Technology Perspectives) 분석을 보면 전동화의 한계를 분명히 하고 있다. Net-Zero 2050 시나리오에서 제시한 수송분야 전동화 목표치는 전체 자동차시장에서 배터리 전기차와 플러그인 하이브리드 비율 45% 달성이다. 이를 위해서는 당연히 배터리가 필요한데 이번 보고서에서는 현재 지구상에서 발견된 리튬 자원을 모두 배터리 제작에 사용한다고 해도 약 40% 정도 부족하다고 밝혔다. 결론적으로 전동화 필수 자원인 리튬의 부족으로 달성가능한 전동화 최대 비율은 전체 수송분야의 23%~25% 사이로 예측된다는 것이다.

IEA의 Net-Zero 2050시나리오가 자체 분석을 통해서 가능하지 않다고 선언한상황으로 더 이상 전동화 올인은 전략으로서 가치를 유지하기 어렵다. 그렇다고 전동화 자체가 전략으로서 유효성을 잃은 것은 아니다. 오늘 좌담회에서는 탄소중립 전략 변화의 인식을

확산하고 새로운 전략으로서 e-fuel 산업에 대한 인사이트를 발굴하고자 한다. 이를 위해 먼저 전동화 올인 전략이 문제점을 살펴보고 앞으로 전동화와 함께 병행해야 할 e-fuel 산업 전반에 대해 논의하고자 한다.

탄소중립, 전 생애주기 Net-Zero 달성으로 판단해야

정재우 한국자동차연구원 대체연료동력기술부문 부부장

수송분야 탄소중립 전략으로 전동화 올인의 한계에 대한 인식은 이미 상당히 확산된 상황으로 전동화 올인의 한계를 다시 논의할 필요는 없어 보인다. 오히려 그보다 중요한 것은 이러한 인식 확산의 배경은 무엇인지 살펴보고 이를 통해 탄소중립을 위한 새로운 전략의 주요 가이드라인을 정리할 필요가 있다고 생각한다.

먼저 전기차 올인을 우려하는 의견들은 다양하지만 몇 가지 내용으로 요약해 소개하면 가장 많은 의견 중 하나가 안정적인 대응의 필요성이다. 전동화만으로 탄소중립 달성이 불가능하다면 안정적인 대응 방안은 무엇인지에 대한 의문에서 e-fuel이나 기타 에너지원의 필요성이 두각을 나타내고 있다. 여기서 안정적인 대응은 첫째, 산업적인 측면에서의 가격 안정성, 둘째, 에너지 혹은 자원안보라는 두 가지 개념을 모두 충족해야 한다. 예를 들어 필요 자원이 안정적으로 적정 가격에 공급된다고 해도 최근 유럽과 중국의 갈등과 같이 우리가 통제할 수 없는 글로벌 위협에서 언제든지 공급망 불안 상황에 놓일 수 있다. 특히 탄소중립 시나리오 불안정성을 고려한다면 에너지안보 혹은 자원안보 차원에서 다중 연료, 즉 에너지의 다양성이 필수 불가결하다는 의견이 제시되고 있다.

둘째, 경제적 측면과 전환기 대응 측면이다. 현재 전기차 즉, 전동화 추세는 분명하지만 기존 자동차산업의 생태계를 보호하면서 전동화가 육성, 발전되어야 한다는 의견으로 경제적인 측면에서 기존 자동차산업계의 축소와 이로 인한 고용안정성 문제로 직결된다는 점이다. 따라서 전환기 대응에서 중요한 점 중 하나가 현재 자동차산업의 상황을 고려한 접근이 필요하다는 점으로 EU(유럽연합)의 내연기관 퇴출 선언을 앞두고 독일이 e-fuel 내연기관차를 허용하도록 강경한 노력을 지속했던 이유도 같은 맥락이다.

셋째, 산업적 측면에서 봤을 때는 다양성에 대한 대응이다. 구체적으로 말씀드리면 우리나라 외에 글로벌시장으로 확대해 보면 전기 에너지로 커버할 수 있는 지역은 시기적으로도 모두 다르고 제한적일 것으로 보인다. 먼저 전동화 수송수단을 제약없이 이용할 수 있려면 전 세계 어디서나 전력인프라와 충전인프라가 갖춰져야 하

Net Zero by 2050

A Roadmap for the Global Energy Sector

는데 현실적으로 갖춰질 수 없다. 다음으로 에너지의 이동성이다. 이 지역에서 저 지역으로 자연스럽게 에너지가 흘러가야만 탄소중립 에너지원의 공용화가 가능한데 에너지의 이동성 측면에서는 전기에너지에 올인하는 것은 당장 산업전반에 큰 위험부담이기 때문에 에너지원에 대한 다양성은 반드시 확보되어야 한다는 의견이다.

탄소중립은 원칙적으로는 전 생애주기 평가(LCA, Life Cycle Assessments)에 기초를 했을 때 Net-Zero가 가능하면 충분하고 전동화가 아니어도 문제가 없다. 따라서 전기차나, 연료전지차나, 내연기관차 나가 아니고 탄소중립이 가능한가라는 개념으로 접근해야 한다. 최근 글로벌 동향을 보면 탄소중립이 된다면 전동화가 아니어도 허용될 수 있는 분위기가 만들어지고 있다. 결론적으로 전동화 올인은 더 이상 유효하지 않은 논제로 투 트랙 이상의 멀티트랙의 연료정책을 어떻게 추진해야 할지가 더 중요한 시점이라고 생각한다.

에너지는 하나로 연결돼 친환경 발전에 앞선 전동화는 탄소중립 역행

조준상 대한석유협회 산업진흥실 실장

에너지 관점에서 전동화 올인 즉, 전동화의 급속한 추진은 오히려 탄소중립에 역행할 수 있다. 먼저 경제성 측면에서 보면 전동화 올인은 합리적인 전략이 아니다. 최근 삼성증권 보고서에서 제시한 전 세계 인프라에 대한 경제성 분석을 보면 e-Fuel의 사회적 비용은 전기차 대비 27% 정도 더 저렴하다. 구체적으로 내연기관의 경우 막대한 인프라 투자비용이 없다는 게 가장 큰 장점인 것에 비해 전동화의 경우는 전력 인프라 즉 전력망 확충이라는 투자요소가 발생한다. 지난

수십 년간 전 지구적으로 갖추어진 내연기관 인프라의 가치를 새롭게 조명할 필요가 있는 것이다. 전동화는 이외에도 충전설비와 배터리 분야에서도 전력망 확충 비용의 50% 정도가 추가로 필요한데 비용으로 환산하면 전동화를 위해 약 7조 5000억 불의 투자가 필요하지만 상대적으로 e-fuel은 5조 5000억 불 정도로 예상된다. 한 가지 더 말씀드리면 보고서에서 전동화를 위한 전력망 확충이 재생에너지기반이라고 지정하지 않고 있다는 점 역시 주목할 점이다. 또 자원 관점에서 코발트 관련된 니켈, 리튬 등에 대한 보고서 의견은 전동화 100% 달성을 위해 유럽에서 필요한 리튬양만 해도 현재의 여섯배 이상이 필요하다고 보고 있다. 결론적으로 현재의 리튬 생산량으로는 유럽만 커버할 수 있는 셈이다.

마지막으로 에너지 관점에서 보면 에너지는 하나로 연결되어 있어 전기차 올인은 탄소중립을 오히려 역행하게 되는 셈이다. Net-Zero 시나리오에서 제일 중요한 포인트가 전기 에너지 발전믹스가 청정믹스로 전환을 전제한 상황에서만 의미를 갖는다. 2021년 기준 화석연료 기반 전력 생산 비율은 62%로 전체 전력생산이 청정발전믹스로 전환하지 못한 상황에서 수송분야의 전동화로 인해 늘어나는 전력수요를 충당하기 위해서는 오히려 탄소 배출 에너지 생산을 늘려야 하는 상황을 만들게 된다. 이미 선진국은 2035년, 전 세계 여러 국가들도 2040년~2050년 탄소중립을 선언했지만 이는 전력생산이 신재생기반 혹은 원자력 발전 등 청정믹스로 바뀐다는 것을 전제로 한 선언이기에 전 생애주기 평가에서 탄소중립 전략을 다시 고민해야 한다고 생각한다.

원양해운! 전동화 불가 대체연료 필요해

윤옥현 HD현대중공업 그린동력시스템연구실 실장

탄소중립에 대한 규제는 선박분야에서도 더 강력해지고 있는데 2050년이 실제로 얼마 남지 않았다는 점을 고려하면 규제에 대한 불만보다는 대안을 찾는 게 중요한 시점이다. 탄소중립을 위한 대응기술 현황은 선박 시장에 따라 좀 다르다. 선박은 운항거리에 따라 크게 원양해운선박, 연안해운선박으로 나뉘는데 연안해운선박의 경우는 탄소중립을 위해 다양한 솔루션이 있을 수 있다. 충전 인프라가 보급되면 전동화 역시 가능성이 있다. 그러나 원양해운 선박의 경우에는 거의 불가능에 가깝다. 배터리는 충전을 시켜줄 충전 소스가 필요한데 보통 원양해운선박을 기준으로는 편도 운항에 약 15일이 소요된다고 하면 30일에 해당하는 연료를 싣고 운항하게 된다. 이렇게 막대한 양의 에너지를 배터리로 충당하려면 선박은 배터리만 싣고 다니는 셈으로 운송효율이 매우 나빠진다. 결국 원양해운선박에서 배터리는 제한적인 보조 에너지원으로 사용하거나 하이브리드 타입으로 적용될 수 있는 수준으로 보고 있고 이를 위해서는 저탄소 혹은 무탄소-탄소중립연료(e-fuel) 외에는 솔루션이 없다.

또 국제해사기구(IMO)의 환경 규제도 더욱 강화되고 있다. 작년 발표를 기준으로 현재 목표는 2050년까지 2008년 대비 50% 감축이지만 아마 올해 80차 MEPC(해사환경보호 위원회) 회의에서 50%에서 Net-Zero로 목표가 변경될 것으로 예상된다. 선박의 운송수명이 25~30년으로 매우 길기 때문에 사실상 앞으로 만들어지는 원양해운선박은 무조건 친환경 선박으로 전환해야 하는 상황이다.

전동화 올인이라는 관점에서 보면 선박은 처음부터 전동화에 대한 가능성을 배제하고 연료를 통한 탄소중립을 고민해 왔기 때문에 육상 수송분야에 비해 오히려 좀 더 빠르게 진행되고 있다고 본다. 최근 선박분야에서 주목받는 e-fuel은 메탄올, 암모니아, 수소, LNG 네 개로 정리할 수 있고, 특히 e-메탄올이 큰 주목을 받고 있다. 선박분야에서 대체연료라 하면 기존에는 대부분 LNG였고 LNG에 이어 바이오 LNG 다음으로 e-메탄올로 연료를 전환하는 계획이었다.

그러나 최근 이런 상황이 뒤바뀌어 메탄올이 LNG를 넘어섰다. 메탄올은 초기 화석 메탄올을 사용하다가 강화되는 규제에 따라 혼합사용 과정을 거쳐 이후 100% e-메탄올을 사용할 것으로 예상된다. 실제 최근 발주되는 대체연료 선박들은 메탄올이 압도적으로 많고 일 시적으로 주목받았던 암모니아는 조금 관망세인데 여기서 중요한 포인트가 바로 연료 전환이 시장에 미치는 영향이다. 주목받던 암모니아를 제치고 메탄올이 등장한 이유는 세계 최고 선사 중 하나인 머스크(MAERSK)가 e-메탄올의 생산 및 공급망을 현실화했기 때문이다. 이는 탄소중립 연료정책에 의미 있는 시사점이라고 생각한다.

전동화와 함께 미래대체연료 개발 필요해

천동현 에너지기술연구원 탄소전환연구실 실장

전동화 올인의 문제점에 대해 이미 많은 부분이 확인되어 저는 간단히 두 가지만 말씀드리겠다. 앞서 나온 에너지의 이동성 관점을 살펴보면 유럽은 하나의 대륙이다. 어느 정도 그리드가 연결된 상태로 전기 트레이드가 가능할 수도 있겠지만, 우리나라는 북한으로 막혀 있어서 여건상으로 섬나라와 같고 전기를 이동시킬 방법이 거의 없다고 봐야 한다. 그리고 지리적, 정치적, 인프라 여건을 고려하면 현실적으로 그리드를 통한 전기 이동이 어려운 국가들도 많은 것이 현실이다. 이점을 고려한다면 전기 에너지의 이동성 장벽을 해소할 수 있는 방법으로 에너지 캐리어로서 e-fuel을 이용하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 재생에너지가 풍부한 국가의 재생에너지를 전기가 아닌 다른 캐리어를 통해 이동함으로써 재생에너지 생산이 불리한 지역에서의 탄소중립을 위한 새로운 전략이 될 수 있다. 따라서 e-fuel 산업은 앞으로 전동화와 독립적이면서도 동시에 보완적인 전략으로 그 중요성을 고민해야 한다.

둘째, 전동화 과정 중 필연적으로 발생 되는 폐배터리 역시 환경오염의 새로운 주범으로 큰 문제가 될 수 있다. 아직 전기차 보급률이 전체 시장에서 일부이고 전동화 역시 성장기지만 본격적인 성숙기에 들어가면 엄청난 양의 폐배터리가 발생할 것으로 보는데 SNE 리서치가 예상한 전 세계 전기차(BEV+PHEV)폐차 대수는 2030년 411만대, 2040년 422만대로, 배터리 용량 기준으로는 2030년 338GWh, 2040년 3339GWh 규모에 달할 것으로 보고 있다. 그렇다면 이후 폐배터리의 환경적 처리에 대한 대응 방안에 대한 전략적인 시나리오 역시 필요하다. 결론적으로 전동화라는 관점에서 탄소중립보다는 더 큰 에너지 관점에서 탄소중립을 어떻게 실현할 수 있을지 대응책을 발굴하고 전략을 세우는 것이 필요하다.

전동화 한계는 다양 e-fuel 산업의 과제이기도 해

배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수

국내 언론에서는 유럽연합의 내연기관 퇴출선언을 앞두고 독일이 e-fuel 내연기관을 주장하는 배경은 앞서 있는 자국의 내연기관 기술 경쟁력과 고용안정이라고 보도했는데 개인적으로 언론보도 내용에 의구심이 있었다. 마침 독일을 방문했을 때 독일 관계자들에게 직접 확인할 수 있었는데 실제 의견은 조금 달랐다. 산업전환이 필요하다면 새로운 사업을 만들어야 하고 고용문제 역시 별도로 풀어야



할 문제이지 비교 우위가 있는 내연기관을 살리기 위해서 고집스럽게 내연기관을 방어하기 위한 것이 아니라는 점을 분명히 했고 독일은 내연기관 유지가 탄소중립을 위해 의미 있는 전략이라고 보기 때 문이라고 했다. 독일은 여전히 세계적으로 무시할 수 없는 기술강국이며 산업 철학이 뚜렷한 국가다. 이런 점에서 우리 역시 독일이 찾은 탄소중립에 대해 내연기관의 유지가 갖는 장점, 그리고 전략적인 포인트가 무엇인지 심도 있는 사계 전문가의 논의를 통해 탄소중립 달성에 내연기관의 역할이 무엇인지 명확하게 수립할 필요가 있다.

또 하나 선박분야에서 말씀하신 대체연료로서 암모니아에 대해서 말씀드리면 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정에서 암모니아 혼합연소가 발전 부분에 들어가 있는데 사실 암모니아는 폭발의 위험성이 있어 조금 주목받다가 배제되는 분위기이다. 규정에 따라 제한적으로 사용되는 상황이라면 몰라도 일반 소비자들이 사용하는 것에 대해 학계에서는 반대의견이 지배적이다. 반면 메탄올의 경우 더 유용한 연료로 보고 있다.

마지막으로 앞서 언급되지 않은 항공분야에 대해 말씀드리면 선박만큼이나 전동화가 불가한 영역이 바로 항공이다. 배터리로 항공기를 운행하면 선박과 마찬가지로 운송비율은 현저히 낮아지는데 거의 무인항공 수준으로 낮아진다. 이는 운송시간으로 보면 항공보다 선박이 더 길지만 실제 운행 거리, 총운송거리는 거의 동일하기 때문에 에너지밀도(energy density)를 배터리로 감당할 수 없고 액체 연료를 써야 된다. 그래서 SAF(Sustainable Aviation Fuel, 지속 가능한 항공 연료)개념이 등장했고 현재 e-fuel 파일럿플랜트에서 e-제트유를 강조하는 이유도 항공분야의 수요가 이미 존재하고 있기 때문이다. 이 외에도 육상운송 중 특히 건설기계와 오프로드 육상운송체들의 경우 배터리로 감당하기 어렵다. 결국 전동화 한계라고 하

는 건 원료 부족을 포함한 공급망 문제, 가격 안정성의 문제, 기술적인 한계 등 다양한데 이는 곧 e-fuel 산업을 통해 해결해야 하는 과제이기도 하다. 우리의 목표는 Net-Zero 시나리오 완성을 통한 탄소중립이기 때문이다.

항공분야, e-fuel 유망시장 정책이 적극적인 기술개발 이끌어야

조준상 대한석유협회 산업진흥실 실장

최근 정유업계 최대 화두가 SAF로 2021년도에 EC(유럽집행위원회)에서 Fit for 55(EU 탄소감축 입법안)을 발표한 것이다. 50년간 항공 연료를 기준으로 봤을 때 탄소중립을 위해서는 SAF가 전체 63%를 차지해야 하며 세부적으로 바이오 항공유 35%, e-fuel 28%로 책정했다. 또 항공유 쪽은 IEA의 Net-Zero 시나리오에도 매년 3%씩, 2050년까지 꾸준히 성장할 것으로 보고 있어 향후 e-fuel 산업에서 항공분야는 가장 유망하다고 할 수 있다.

항공분야의 신 연료 개발을 위해 독일에서는 e-fuel에 대해서 온실가스 감축 할당량에 두 배 가중치 혜택을 주고 있고 독일 교통부는 바이오연료나 e-fuel 관련 R&D 예산으로 19억 유로를 배정했다. 반면 국내에서는 e-fuel 관련 지원이나 연구개발은 부족한 실정이다. 국내에서도 교통에너지 환경세, 유류세를 걷고 있는데 이런 세수가 가장 많이 사용되는 분야는 교육비특별회계다. 우리 국토부에서도 앞으로 수요가 예측되는 바이오 항공유나 e-fuel 관련 기술개발이나 연구에 적극적인 투자가 필요하다고 생각한다.

Section 02

수송분야와 에너지산업 e-fuel 전망과 해외 e-fuel 산업 동향

탄소중립을 위한 전략의 하나로 미래대체연료가 주목을 받고 있으며 그 중심에는 e-fuel이 있다.

e-fuel을 생산하는 정유 화학산업과 활용하는 자동차 산업 등 수송분야의 준비는 충분할까? 국내 및 글로벌 산업 현황에 대해 논의해 본다.

e-fuel 상용화 국내 산업계 문제 없나?

배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수

앞서 논의된 대로 탄소중립을 달성하기 위해서는 재생에너지를 기반으로 한 전동화를 여러 전략 중 하나로 가져가고 전동화의 한계를 극복할 수 있는 저탄소, 무탄소 연료 전략을 병행해야 한다는 점은 명확하다. 그럼, e-fuel 산업 상용화를 위해 국내 수송분야를 비롯한 에너지 산업의 현황은 어떤지 확인해야 한다.

이번 논의에서는 자동차산업과 선박분야 그리고 정유업계 등 국내 e-fuel 활용산업과 공급산업의 현황에 대해 살펴보고 문제점을 발굴하여 개선책을 논의하고자 한다. 먼저 자동차산업을 포함한 수송분야에서의 e-fuel 도입이 가능한지 기술적인 문제나 산업 여건에 대해 살펴보겠다.

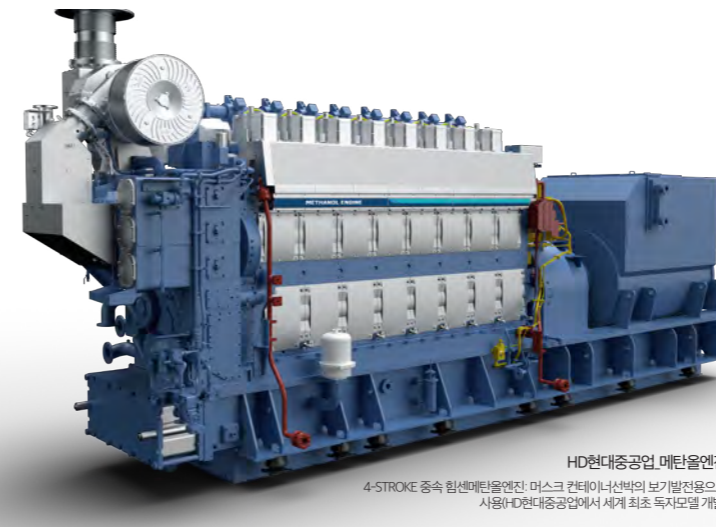
국내 자동차업계 미래대체연료 대응에 문제 없어

김재현 현대자동차 터보엔진리서치랩 책임연구원

e-fuel 관련 현대자동차의 상황을 말씀드리면 일부 우려의 목소리와 달리, 향후 엔진에 e-fuel을 적용하고 대응할 수 있도록 기술적으로 다양한 연구를 활발히 진행하고 있다. 화석 연료 같은 경우에도 지역별 연료 품질 및 성상이 상이하지만 국내 완성차업체는 각 지역별 시장에 맞는 엔진 시스템(연료 및 후처리 시스템 등)을 개발하여 다각도로 대응하고 있는 것과 같이, 향후 e-fuel의 경우도 기술적으로 충분히 대응할 수 있도록 꾸준한 연구개발을 진행하고 있다. 연료 성분이 다양한 e-fuel 연료를 테스트 해본 결과 연소 안정성 및 성능에 전혀 문제가 없었으며, 이는 즉 e-fuel이 연료 규격 범위를 충족하기만 한다면, 엔진시스템의 큰 변경 없이 적용할 수 있을 것으로 생각한다. 설령 e-fuel의 조성이 현재 연료 규격과 상이 하더라도, 연료 자체의 성질을 잘 활용해서 연료 연소의 효율성을 극대화하여, 전체 효율을 향상시킬 수 있는 파워트레인 시스템 개발도 활발히 진행하고 있다.

e-fuel 생산이 본격화되고 대중적으로 보급이 된다면 자동차에 추가로 필요한 기술로서는 e-fuel 감지 장치(Fuel inducement system)가 있다. 즉, 사용자가 실제로 e-fuel을 주유했는지, 아니면 기존 화석 연료를 주유했는지 여부를 판단해야 하는 상황이 발생한다. 이를 대응하기 위한 기술의 한 예시를 들자면, IT 기술을 접목한 클라우드와 같은 서비스를 통해 e-fuel 주유 상황을 모니터링하고 관제할 수도 있게 하는 것이다. 예를 들어, 주유소마다 e-fuel의 속성(예: 전주기적 관점에서의 CO₂ 저감량 등) 및 급유량 관련 데이터, 그리고 차량의 e-fuel 주유량 및 주행 거리 정보 등을 지속적으로 서버와 통신하고 모니터링 함으로써, 사용자가 e-fuel 이외의 연료의 주유를 방지할 수 있고, e-fuel 주유 및 사용 현황 정보와 더불어 탄소 감축량 모니터링에 있어서도 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

완성차업계는 e-fuel 적용을 위해 준비하고 있는 것과 동시에, e-fuel 자체가 경쟁력을 갖고 상용화 되고 유통되기까지 여전히 많은



HD현대중공업 메탄올엔진 4-STROKE 중속 힘센메탄올엔진: 머스크 컨테이너선박의 보기 발전용으로 사용(HD현대중공업에서 세계 최초 독자모델 개발)



HD현대중공업 메탄올엔진 2-STROKE 저속 메탄올엔진: 머스크 컨테이너선의 추진용으로 사용(HD현대중공업에서 세계 최초 메탄올엔진 생산)

노력이 필요한 상황이다. 제도적인 차원에서 지원이 필요하다고 생각하는데 첫째, CO₂ 배출 규제 같은 경우 CO₂ 배출량을 전주기 관점에서 고려해서 인정해주는 것이 필요하다.

현재 자동차 CO₂ 규제는 배기 파이프(tail-pipe)에서 배출되는 것으로만 산정되기 때문에 e-fuel 사용에 따른 CO₂ 감축 효과가 제대로 반영될 수 없다. e-fuel을 사용하더라도 배기파이프에서 똑같이 CO₂가 배출되기 때문이다. 따라서, 전주기 관점에서 평가가 되어야만 e-fuel의 CO₂ 감축 효과가 제대로 반영될 수 있다. 이는 e-fuel을 만드는 과정에서 CO₂를 대량 포집하고, 화석연료 대비 이산화탄소 발생량도 효과적으로 저감할 수 있기 때문에, e-fuel이 탄소중립에 효과적인 연료로 평가받을 수 있다.

둘째, e-fuel이 경쟁력 있게 상용화될 수 있도록 정부차원에서의 지원(보조금 및 정책)이 필요하다. 현재 e-fuel은 석유에 비해 제조비용이 높고, e-fuel에 필요한 CO₂ 캡처 기술 및 그린 수소 제조 관련해서 풀어나가야 할 숙제가 많다. 기존 전기차 보급을 위해 정부가 실시한 보조금 정책과 비슷한 맥락으로 e-fuel 생산 및 보급에 있어서도 정부의 보조금 및 지원 정책이 있어야만 e-fuel 제조 관련 기술에 적극적인 투자 및 개발이 활성화 될 것으로 생각한다. 또한, e-fuel의 경우, 기존 화석연료와 같이 세금을 책정하기보다는, 추가적인 세제혜택을 제공한다면 e-fuel의 경쟁력 확보에 도움이 될 수 있을 것이다.

e-fuel이 보급된다면, 인프라 측면에서 전기차와 달리 추가 투자 없이 기존 내연기관 인프라에서 바로 적용 가능하기 때문에 시장 확대에 있어서 훨씬 용이할 것으로 본다. 그리고 시중에 이미 운행 중인 내연기관 차량에 e-fuel을 바로 적용 할 수 있기 때문에, e-fuel로 인한 CO₂ 저감 효과에 큰 영향력이 있을 것으로 생각한다.

선박분야 수요에 비해 공급망 우려 커

윤옥현 HD현대중공업 그린동력시스템연구실 실장

앞서 말씀드린 대로 선박업계는 원만한 선박의 탄소중립을 위해 e-fuel을 유력한 솔루션 중의 하나로 보고 있어서 e-fuel 수요는 충분히 형성될 것으로 예상된다. 또 기술적으로도 그동안 메탄올, 암모니아, 수소전지 등 다양한 기술들을 놓고 연구했기 때문에 어떤 연료를 선택하든 선박엔진 개발 등 기술 대응에 큰 문제는 없을 것으로 생각한다. 반면 저회 선박업계가 주목해서 보고 있는 문제는 오히려 연료 공급망 문제다. 예를 들면 최근에 메탄올 선박 발주가 많아졌고 저회 역시 선박을 제조하고 테스트 시운전을 위한 메탄올을 확보해야 하는데 시운전을 위한 메탄올 수급 역시 울산항과 협조하여 공급받는 수준이다. 또 최근 한 세미나에서 알게 된 세계 최대 규모의 바이오 LNG 생산시설인 노르웨이 바이오크래프트(Biokraft)를 보면 일 생산량이 50 톤 정도로 연간 생산량으로 환산하면 2만 톤이 채 되지 않는다. 보통 연료라고 하면 국내의 천연가스의 수입량이 약 4,700만 톤에 정도인데 연료로서 과연 2만톤 규모가 어떤 가치를 갖고 시장에서 연료로서 역할을 하게 될지 개인적으로 의구심이 들었다.

또 선박분야에서 추진하고 있는 또 다른 탄소중립 정책 중 하나가 녹색해운항로(Green Shipping Corridors)이다. 녹색해운항로는 국가 대 국가 혹은 다자간의 협정으로 해당 항로에서는 무탄소·탄소중립 소연료만을 사용하고 탈탄소 연료 공급망을 설치하는 등 일종의 선박수송루트의 탄소중립화를 위한 전략중 하나다.

우리나라 역시 미국 워싱턴주 타코마항과 부산항을 녹색해운항로로 지정했다. 이런 움직임은 EU를 비롯해서 중동, 칠레, 호주, 싱가포르





르 등에서 계속해서 늘어나고 있다. 이런 상황을 보면 앞으로 e-fuel 이 수요 대비 공급량이 상당히 부족할 것으로 보인다. 일단 선박연료만 보면 2030년 이후에는 어느 정도 양은 공급할 수 있겠지만 생산되는 모든 e-fuel이 선박에만 사용되는 것은 아니고 육상수송과 항공분야 등 수송분야 전체를 커버해야 하기 때문에 적극적인 공급망 확대 정책이 없다면 공급 이슈가 발생할 것으로 생각한다.

정유업계 시장 예측은 어려워 시장성에 맞춰 준비

조준상 대한석유협회 산업진흥실 실장

결론부터 말씀드리면 e-fuel 산업을 위한 정유업계의 준비가 원활하다고 말씀드리기 어렵다. 좀 더 정확히 말씀드리면 정유업계는 e-fuel 산업에 대해 풀어야 할 과제이지만 방향을 결정하지 못하고 있어 대응 역시 소극적인 게 사실이다. 그 이유는 여러 가지가 있지만 몇 가지로 정리해서 말씀드리면 가장 큰 이유가 분명한 시장이 보이지 않기 때문이다. 앞으로 e-fuel 시장의 근거가 없다. 구체적으로 실제 전동화 올인은 어디에도 근거가 없다. 매우 적극적인 Net-Zero 시나리오조차 제시하는 수송분야의 목표치를 보면 전기화 45%, 수소기반연료 28%, 바이오 16%, 그리고 석유 10%로 전망하고 있어 전동화 비율은 절반이 채 되지 않는다. 그럼에도 전동화 올인이 나오는 건 산업 전반의 트렌드 때문이고 특히 도로교통분야에서는 전동화 쏠림 현상이 발생하고 있다. 정유업계가 공급 가능한 대체연료가 e-fuel과 바이오연료 두 가지로 볼 수 있고 새로운 사업을 위해서는 시장성 검증 즉 시장을 찾아야 한다. 일단 항공분야는 ICAO(국제민간항공기구)에서 2027년부터 국제항공 탄소상쇄·감축제도(CORSIA)를 의무화하기로 정했기 때문에 바이오 항공유쪽을 적극적으로 대응

하고 있고 선박분야는 IMO(국제해사기구)에서 올해 더 강력한 목표 수정과 함께 구체적인 규제와 로드맵을 제시할 것으로 알려져 있다.

반면 육상분야 즉 도로기반 수송에서는 대체연료에 대한 로드맵이 나 수요 전망 자체가 미미해 사실상 없는 상태이고 막연한 전동화만 있다. 공급자에게는 정확한 수요예측까지는 아니더라도 최소한 시장 활성화 가능성이 확인돼야 하는데 시장이 불투명한 상태다. 이로 인해 e-fuel이 2050년에 어느 정도 도로 부분에서 쓰일거라는 예측이 어렵고 전체 e-fuel 시장의 전망도 불투명하다. 이는 정유업계를 수동적으로 대응하도록 만드는 이유가 된다. 계속 트렌드가 바뀌겠지만 결국 명확하게 보이는 방향에 따라서 정유업계가 움직일 것으로 본다. 이러한 움직임을 소극적으로 볼 수 있으나 이는 정유업계의 특성이기도 하다. 정유업은 사업 결정에 따라 적게는 몇 조에서 많게는 몇 십조를 투자해야 하는 만큼 시장성이 충분히 담보되어야 하며, 이를 통해 사업화가 가능한 업계의 현실을 깊게 이해할 수 있는 것이다.

글로벌 e-fuel 산업, 아직은 가능성 수준

천동현 에너지기술연구원 탄소전환연구실 실장

해외 e-fuel 산업을 보면 세 가지 정도 주요 흐름이 있는 것 같다. 첫째, 자동차 회사, 엔드 유저가 주도하는 흐름, 둘째 기존 합성연료 에너지기업, 마지막으로 벤처기업들이 주도하는 흐름이 있다. 각 흐름별로 대표적인 사례를 보면 먼저 완성차 기업이 주도하는 경우는 작년에 준공한 포르쉐 AG의 하루오니(Haru Oni) 플랜트이다. 아시겠지만 포르쉐 AG가 칠레의 운영사 HIF (Highly Innovative Fuels) 및 국제 파트너사들과 협력해 만든 파일럿 플랜트로 올해부터는 하

루약 400리터 정도의 e-가솔린을 생산할 계획이다. 자신들이 주관하는 레이싱대회도 모두 e-가솔린을 공급하겠다는 계획으로 상당히 매력적이고 포르쉐가 e-fuel시장에서 좋은 출발을 가져가고 있다고 평가하고 싶다.

둘째, 기존 합성연료에너지 기업들을 살펴보면 우선 합성연료 상용화 기술을 보유한 기업이 많지 않다. 대표적으로 남아프리카공화국의 사솔(sasol), 중국의 선화그룹 그리고 영국의 다국적 기업이 셸(shell)정도이다. 이들 기업들의 기술은 크게 석탄을 사용하는 석탄액화기술(CTL, Coal To Liquid)과 천연가스를 사용하는 천연가스액체화기술(GTL, Gas-to-Liquids)인데 사솔은 두가지 기술을 모두 사용하고 있고 중국은 CTL기술을, 셸은 GTL기술을 보유 사용하고 있다. 기술 차이에 상관없이 이들이 만들어 내는 합성연료는 e-fuel과 거의 동일하다고 볼 수 있다. 다만 동향을 살펴보면 석탄액화기술에서 중국이 가장 앞서 있고 실제로 중국은 앞으로도 계속해서 석탄을 사용하겠다고 공언하고 있지만 사솔은 e-fuel로 전환하기 위해서 Sasol ecoFT라는 자회사를 만들어 보유하고 있는 합성연료생산 방식에서 압축을 바꿔 CO2와 그린수소를 확보한다는 전략하에 합성가스와 항공유까지 생산하는 기술 연구를 착수했다. 셸은 Power to Liquids 방식, e-fuel과 똑같은 개념인데 이 PTL방식으로 2050년까지 항공유에서 어느 정도 경제성을 확보하겠다는 전략을 제시하고 있다.

마지막 벤처기업의 대표적인 사례는 인피니움으로 세계적인 물류 회사 아마존이 인피니움에 거액을 투자해서 e-fuel을 만들고 캘리포니아 배송 트럭에는 모두 e-fuel을 사용하겠다고 밝히면서 주목을 받고 있다. 국내 대기업도 인피니움에 투자한 것으로 알고 있지만 인피니움의 기술력은 아마존이나 국내 대기업의 거액의 투자를 받을 만큼 독보적인 것은 아니다. 엔지니어로서 분석하면 오히려 현재까지 상용화된 기술들을 어떻게든 조합해서 e-fuel 제조 패키지를 꾸렸다는 점을 강점으로 볼 수 있는데 이는 분명한 시사점이 있다.

e-fuel 산업에서 리스크 감당이 상대적으로 쉬운 벤처기업들이 리스크를 안고 도전하고 대기업들은 이런 벤처기업에 필요한 자금을 투자함으로써 함께 시장을 열어나가는 것이 바람직한 구조라고 생각한다. 특히 우리나라도 e-fuel 산업에 필요한 기술력은 상당히 갖춘 상태이기 때문에 국내에서도 이런 벤처기업의 시도가 적극적으로 활성화되길 기대한다.

Section 03

국내 e-fuel산업 현실과 글로벌 경쟁력 확보를 위한 전략

e-fuel산업은 완성차기업은 물론 합성연료기업과 벤처기업까지 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 상대적으로 국내 e-fuel 산업은 특별한 움직임을 찾아보기 어렵다. 우리나라가 자동차산업 조선산업 정유산업의 강국임을 고려하면 소극적인 산업계의 움직임이 아쉽게만 느껴진다. 앞으로 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해서는 e-fuel 산업에서도 새로운 리더십을 만들어 가야하는데 국내 e-fuel 산업의 과제는 무엇인지 그리고 이를 개선하고 탄소중립의 목표를 실현할 전략과 로드맵을 살펴봤다.

e-fuel 정유업계와 완성차기업이 적극적으로 나서야

배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수

우리나라의 e-fuel 산업이 실체를 갖추고 있는가를 살펴보면 전혀 그렇지 못한 상황이다. 실제 국내 정유산업은 세계 5위의 정제설비 능력을 보유하고 있고 2022년 수출액이 570억 3700만달러(약 73조 7400억원)로 수출 비중까지 높아 해외 특히 석유제품 수급에 어려움을 겪는 EU에게는 글로벌 스윙 프로듀서(swing producer)로 주목받고 있다. 이는 국내에서 e-fuel산업을 위한 기술문제로 큰 장벽이 아니라는 것이다. 오히려 저는 국내 정유업계와 자동차업계가 e-fuel 시장이 열리기만 기다리는 소극적인 자세를 바꿔 공격적인 흐름으로 나가야 한다고 생각한다.

이는 글로벌 시장으로 확대해도 e-fuel 산업의 실체는 적은데 이런 상황이 우리에게 기회가 될 수 있기 때문이다. 계속해서 포르쉐와 칠레의 HIF사례가 회자되는 것도 이런 이유인데 실제 하루오니 공장의 생산량은 2025년에도 연간 5만5천 톤 정도다. 이 정도의 생산량은 연료로서 의미를 갖는 생산량은 아니며 보여주기식의 프로젝트라고도 볼 수 있다. 그러나 이를 가볍게 볼 수 없는 것은 e-fuel

산업에서의 선점효과 때문이다. 포르쉐의 하루오니 누적 투자금액이 약 1,227억 원 수준이다. 큰 돈이기는 하지만 e-fuel 산업 선점으로 앞으로 누리게 될 효과를 생각해 보면 결코 큰 투자는 아니라고 생각한다. 세계 최고 수준인 국내 완성차기업이나 정유업계에서 e-fuel 파일럿 프로젝트는 시도해 보는 것은 큰 의미가 있다고 생각한다.

정유업계 연구 개발 아직은 한계점 있어, 정책적 지원도 부족

조준상 대한석유협회 산업진흥실 실장

해외 e-fuel 산업 동향을 보면 다양한 움직임을 보이지만 상대적으로 국내 상황은 조금 다르다. e-fuel은 연료이기 때문에 당연히 정유업계가 주도적인 역할을 해야 하는 것이 맞지만 현재 국내 정유업계는 아쉽게도 관망하는 단계이고 그 이유를 몇 가지로 설명드리고 싶다.

첫째, 우리나라 탄소중립 시나리오에는 목표만 있고 로드맵이 없는 구조로 성장 과정을 밟아나가기 어렵다. 바이오 연료는 정유사들이 해외 라이선스를 확보하고 생산기술을 도입해 공장을 짓는 등 어느 정도 시도할 수 있지만 e-fuel산업은 그 전제가 되는 원료로 즉, 그린수소와 CO₂포집 기반이 없다. 현재 우리의 탄소중립 2050 시나리오 상에서는 그린수소와 CO₂포집이 없으면 아무것도 할 수 없는 것이 맹점이다. 단순히 2050년에 해당하는 목표치의 그림만 있기 때문이다. 실제 정유산업 현장에서는 그린수소 이전에 중간단계에서 블루수소나 공장에서 나오는 그레이수소를 활용할 수 있는 여러 가지 방안이 세우고 시도해 볼 수 있겠지만 정책에서 이런 중간과정을 허용하지 않아서 결국 e-fuel을 하려면 그린수소와 CO₂포집부터 준비해서 해야 하는데 정유업계에서 단독으로 해나가기에는 부담이 너무 큰 상황이다.

둘째, 연료 포트폴리오의 다양성도 문제다. 국내 연료 포트폴리오는 매우 다양한데 선박은 수소, 암모니아, 액화수소 등이 제시되고 있고 자동차는 선박보다 포트폴리오가 매우 다양한데 수소, 바이오에탄올, 바이오디젤, 차세대 바이오디젤 등 다양한 연료의 가능성이 거론되고 있어 정유업계의 다양한 포트폴리오로 인해 집중력 있는 대응이 어려운 상황이다. 또 글로벌 시장과 국내 정책의 엇박자도 문제인데 유럽집행위원회는 2035년에 바이오연료 사용을 배제하고 e-fuel만 내연기관에 연료로 인정한 반면 작년 우리 정부는 바이오연료 확대 방안을 발표하고 정책적으로 바이오연료를 집중적으로 추진하고 있다. 바이오연료는 원료 제한이 크고 e-fuel은 대량생



산이 가능해 경제성이 있다. 이런 상황에서 어떤 연료를 미래연료로 집중해야 할지 정유업계의 고민이 깊다.

마지막으로 전환과정에 있는 정유산업에 대한 정책적 소외감이 존재한다. 국가에너지안보 차원에서 보면 현재 국내 에너지 소비의 절반이 석유다. 정유산업은 국내 에너지의 50%를 책임지는 동시에 수출 비중도 높기 때문에 에너지 안보도 지키고 수출도 하면서 탄소중립도 대응해야 하는 삼중고를 겪고 있음에도 국가 신산업 투자에서 반도체나 자동차산업과 동등한 대우를 받지 못한다. 이는 정유산업에 대해 페이드아웃되는 산업이라는 인식이 상당히 팽배해 있기 때문인 것으로 보인다. 예를 들면 반도체는 국가전략기술로 인정받고 전기차 생산도 핵심 국가전략기술로 격상됐지만 정유업계는 빠져있다.

당연히 e-fuel도, 차세대 바이오연료도 빠진 상태로 투자세액공제 혜택 대상도 아니다. 실제 작년 8월 미국이 인플레이션감축법(IRA)을 발효하자 자동차와 반도체 산업을 우려하는 언론의 보도가 매일 같이 나왔지만 아쉽게도 그 기사들 중 정유업계에 대한 우려나 정책 지원을 요구하는 기사는 본 적이 없다. 그런데 정작 미국의 IRA에는 바이오 항공유 보조금 정책이 존재한다. 갤런당 1.25~1.75달러로 환화로 2,000원 정도이고 리터로 환산하면 약 550원 정도다. 리터당 소비자 가격을 고려한다면 엄청난 지원이고 해당 보조금은 2025년부터는 미국에서 생산하는 기업에만 제공될 예정이다.

현재 우리 정유업계는 상당한 국제 경쟁력을 확보하고 있다. 그리고 이 경쟁력을 미래연료산업까지 이어가려면 e-fuel 산업에 대한 공감대 형성과 현실적인 로드맵을 제공하는 정책 그리고 정부의 적극적인 지원이 필요한 상황이다.



에너지산업의 중요성 재인식해야

배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수

에너지 안보라는 단어까지 말씀드리지 않아도 자원빈국인 우리나라에서 에너지 산업의 중요성은 강조하지 않아도 될 만큼 중요하다. 그러나 일반 소비자들은 물론이고 활용기술분야에서는 에너지 공급을 쉽게 말하고 있다. e-fuel이 있으면 탄소중립 가능하니 만들어 달라하지만 반면 공급자입장에서는 결코 쉬운 일이 아니다. 만드는데 필요한 요소기술도 확보해야 하고 공급망 체계가 복잡하기에 업계 자율에 맡겨 해법을 기대하기는 어렵다고 본다.

그런데도 정책에서는 중요성을 간과하고 있다. 지난 5월 과학기술자문회 산하 탄소중립녹색성장특별위원회가 발표한 100대 핵심기술을 보면 플라스틱 관련 기술은 5개로 전체 5%를 차지한다. 반면 e-fuel에 관련된 기술은 초라한 수준이다. 그나마 활용기술면에서 선박 부분의 탄소중립 내연기관과 발전부분에서 암모니아 혼합연소, 수소 혼합연소, 수소전소가 포함된 정도다.

플라스틱이 우리 산업에서 차지하는 역할이 어느 정도인지 모르지만 5%를 차지하는 반면 이 큰 에너지 시장에서 원유 생산을 담당하는 업스트림(Upstream)쪽은 전무한 것이 지금 우리의 현실이다. 우리나라 정유산업은 그간 국가 산업에서 중요한 역할을 담당해 왔고 놀라운 성장과 성공스토리를 만들어 왔다. 그러나 성공에 따른 후유증인지 모르겠지만 에너지 산업의 중요성에 대한 인식이 현저히 낮아진 것 같고 이런 인식은 스스로 강점을 살리지 못하고 안타까운 결과를 가져올 수 있다.



전기에너지 아직 시간 필요해 무탄소연료도 준비해야

천동현 에너지기술연구원 탄소전환연구실 실장

탈탄소를 위해 새로운 에너지 시대로 전환하는 시기에 하나의 전략에 집중하는 것은 좋은 전략이 아니다. 특히 기술적으로 보면 우리가 개발 가능한 기술을 바탕으로 각 에너지 시스템의 장단점을 살펴 상호 보완하는 원원구조를 만들고 동시 다발적으로 추진해 나가는 것이 기본이 되어야 한다. 특히 전기 에너지의 경우 아직 기술적인 면에서 에너지원으로서의 역할에 모두 제공하는 데 어려움도 있고 우리에게 꼭 필요하지만 탄소배출이 불가피한 산업도 존재하기 때문이다.

먼저 전기에너지에 대한 기술개발이 아직 충분하지 않다. 특히 에너지의 중요한 역할 중 하나가 열원 공급인데 에너지형태가 최종적으로 열원 공급일 경우에는 기존 화석연료 연소 시스템에 비해 전기의 열원 공급 기술은 아직 부족하다. 최근에 전기기열기술이나 수소나 암모니아 연소기 개발을 연구하고 있지만 아직까지 화석연료를 모두 대체하기는 어렵다. 당장 전기를 중심으로 한 탈탄소 기술이 산업계에 열원공급 에너지로 자리를 잡으려면 상당한 시간이 필요할 것으로 예상된다. 이런 측면에서 e-fuel 등 저배출 혹은 무탄소연료가 개발되면 연료 개발 하나만으로 열원공급 에너지로서 탄소중립에 큰 역할을 할 것으로 기대할 수 있다.

또 인식전환의 필요성도 크다. 실제 탄소중립과 온실가스 배출제로 개념이 혼용되는 경우가 일반적이는데 특히 탄소중립정책의 방법을 오로지 탄소배출제로화만으로 추진하는 것은 현실과 맞지 않다. 예를 들어 CO₂를 많이 배출하는 산업분야로 시멘트산업이나 석유화학산업이 자주 꼽히는데 실제 CO₂ 배출이 많은 건 사실이지만 대안을 찾



기는 어렵다. 시멘트산업과 같이 칼슘카보네이트를 칼슘옥사이드로 바꿔야하면 무조건 CO₂가 발생할 수밖에 없고 석유화학산업 역시 납 사원료를 대체하지 않는 한 CO₂ 배출은 불가피하다. 이처럼 탄소배출이 불가피한 산업영역에서 조차 탄소배출제로화를 추구하는 것은 좋은 전략이 될 수 없다. 그보다는 배출되는 CO₂를 포집기술을 이용해 수집하고 다시 활용할 수 있는 순환구조를 만들어 탄소는 배출하되 배출되는 탄소를 수집해 보완하는 전략이 더 적합하다고 생각한다.

또 에너지 엔지니어로서 한 가지 규제 개선을 건의하면 현재 국내 정책에서 제시하는 e-fuel 정의가 지나치게 특정적(Specific)이다. 기술 개발에서 보면 이런 제한적인 여건은 다양한 기술적 가능성을 발휘하기 어려운 구조를 만들기 때문에 전환기에 있는 에너지 산업에서 다양한 솔루션을 발굴하기에 적합하지 않다. 포지티브(positive) 규제보다는 네거티브(negative)규제가 오히려 효과적일 수 있다.

예를 들어 매립지부생가스와 같은 일종의 바이오가스는 리포밍(Reforming)과 같은 개질 공정을 통해서 합성 연료로 만들 수가 있지만 탄소중립 시나리오에서 인정받지 못하기 때문에 산업적인 가치를 인정받지 못한다. 지금은 정책적으로 조금 더 유연하게 다양한 에너지원에 대한 접근을 허용하면서 당장 어려운 그린수소나 DAC(직접 공기포집기술, Direct Air Capture)에 대한 대안을 발굴해 나가는 것이 바람직하다고 생각한다.

우리나라는 이미 선진국 우리만의 시나리오 필요

배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수

우리나라 경제 규모는 다양한 지표에서 이미 세계 Top10안에 진입해 있다. 지표에서 보듯 이제 글로벌 트렌드를 무조건으로 따라가는 수준이 아니라 글로벌 트렌드 역시 자체적으로 검증하고 우리에게 맞는 최적의 해법을 수립할 필요가 있다. 제가 2008년부터 IEA 본부 회의를 매년 가는데 IEA가 제시하는 모델은 단순하고 때로는 이렇게 무모한 결정이 있나 싶을 정도로 중간 과정에 대한 고민 없이 목표만 설정해 놓는다.

Net-Zero 2050시나리오에서 제시한 수송부분 탈탄소화도 마찬가지다. 경로 자체가 블랙박스화되어 있는데도 목표만 제시되어 우리 산업계에 커다란 부담을 주고 있다. 따라서 앞으로는 정책수립 시 관련 학계나 산업계의 의견을 반영하고 충분한 공감대를 형성할 수 있는 우리만의 시나리오가 반드시 필요하다.

또 한 가지 e-fuel 산업에서 가장 큰 비용을 차지하는 것이 수소다. e-fuel 산업의 중심에 수소가 있지만 정작 그린수소에 대한 특별한 해법은 없다. 해법 제시가 어려운 이유는 결국 규제의 형평성 때문이다. 2022년 글로벌 자동차 신차시장에서 전기차 비중이 10%까지 성장했는데 실제 전기차에서 사용하는 전기에너지는 모두 그린수소 즉 재생에너지라고 볼 수 없다. 그러나 정책에서 보조금 지원을 통해 전기차 구매를 독려하고 소비를 촉진시키면서 전기차 시장은 해마다 높은 성장률을 기록하고 있다.

반면에 e-fuel은 지금도 블루수소나 그레이수소를 이용해 제조할 수 있지만 오히려 제도에서 막고 있어 시도하지 못하고 있다. 그레이



아우디이퓨얼생산시설



수소를 사용해서 만든 e-fuel도 CO₂를 포집해 탄소를 줄이고 배출되는 배기가스에서도 더 적은 CO₂를 배출하기 때문에 균형적인 정책이라면 e-fuel 산업에 대해서도 원료 규제 완화는 물론이고 보조금 혜택을 지원해야 한다.

수소 확대 생산보다 소비가 우선, 소비늘려야

정재우 한국자동차연구원 대체연료동력기술부문 부문장

미래대체연료에 대해 논의하면 항상 나오는 게, 수소와 CO₂로 귀결된다. CO₂는 DAC(직접공기포집, Direct Air Capture)와 바이오매스에서 나오는 탄소포집이 주로 논의되는데 바이오매스에서 나오는 탄소량이 상당해서 어느 정도 CO₂ 포집은 가능성을 보여주고 있다. 반면 수소는 해법이 쉽지 않다. 그래서 저는 수소 해법을 위해 다른 방향으로 접근해왔다. 결국 수소비용을 낮춰야 하는데 수소 보급 활성화 로드맵을 보면 2040년도 이후까지 수소 가격을 이미 정책적으로 제시를 해놓았다. 그래서 가격의 배경이 무엇인지 확인해보니 의외로 수소 비용 하락은 공급에 있지 않고 소비에 있다. 즉 수소 사용량이 늘어나면 공급가격은 자연히 낮아질 것으로 보고 있는 것이 정부 입장이다.

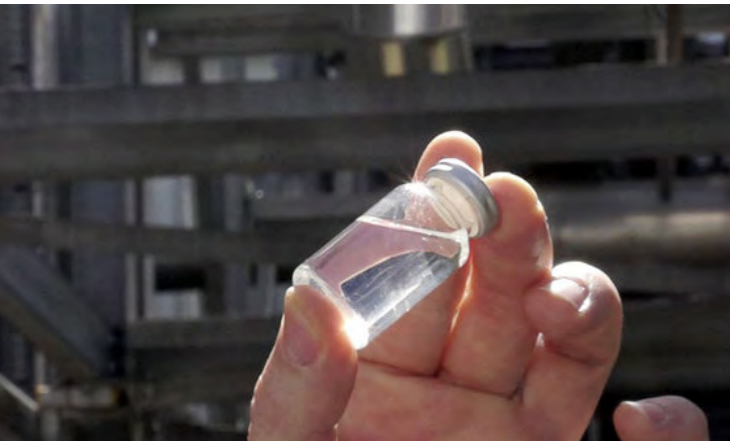
일견 닭이 먼저냐 달걀이 먼저냐라는 정책이라고 볼 수 있지만 조금 더 생각해보면 수소 소비가 늘어나면 시장에 필요한 만큼의 수소를 생산하기 위해 더 많은 자원이 투입될 것이고 이로 인해 자연스럽게 수소 가격 인하를 가져올 수 있다는 논리로 규모의 경제를 놓고 보면 설득력이 있다. 개인적으로 어떻게 수소 소비를 촉진할 수 있을지에 대한 방법을 찾는 게 더 중요할 수 있다고 생각한다.

대체연료 시장에 선도사례 만들어야

조준상 대한석유협회 산업전략실 실장

우리나라가 보유하고 있는 산업 여건들, 특히 정유산업에서는 지금이라도 e-fuel 산업을 시작할 잠재 여건을 가지고 있다고 본다. 다만 우리나라의 탄소중립 시나리오가 글로벌 Net-Zero 시나리오 비해서도 상대적으로 가혹한 수준으로 e-fuel 산업 육성을 가로막고 있다고 생각한다. 현재 국내에서 사용하는 탄소중립 시나리오상 수소 사용량 전망자료를 보면 2050년 국내 수소 소비량은 약 2,790만 톤으로 예상하고 이중 수입이 2,290만톤 국내 생산이 500만톤이다. 특히 국내 생산분의 60%를 그린수소로 보고 있으며 그레이수소의 비중은 제로다. 정리해보면 2050년 국내 수소 생산량 중 블루수소가 차지하는 비중은 대략 7% 수준인데 IEA 자료를 보면 2050년에 전체 수소 생산량의 40% 정도는 블루수소로 전망하고 있다. 세계적으로 40%를 생산하는데 우리는 더 적게 생산하겠다는 논리로 이런 정책 목표들은 조금 더 유연성을 갖추면 좋을 것 같다. 그래야 수소분야에서도 국내 기업들이 시장을 전망하며 다양한 시도들을 해 볼 것으로 보인다.

또 앞서 말씀드린대로 국내에서도 제도의 유연성만 주어진다면 지금도 e-fuel 제조는 가능하다. 정유업계가 수소를 제일 많이 만들 수 있고, CO₂는 여차피 공정에서 발생하기 때문에 합성하면 가능하고 소량이겠지만 자동차, 선박, 항공 등 수송분야에서 공급한다면 Net-Zero emission은 아니지만 단계별로 지속할 수 있는 중간 시나리오를 갖출 수 있고 사업에 참여하는 산업체들의 호응도 높아질 것으로 생각한다. 또 하나 탄소중립 아일랜드를 표방하는 제주도의 풍력 설비 시설이 공급과잉으로 작년에만 64회 가동을 멈춘 것으로 알고 있다. 에너지 분야에서는 과거부터 P2X(Power to X)라는 잉여 에너지



지를 활용하는 기술을 활용해서 적극적으로 미래지향적인 모습을 보여줄 필요도 있다고 생각한다.

e-fuel, 산학연 모두 공감하는 정책안 필요

정재우 한국자동차연구원 대체연료동력기술부문 부문장

몇 년간 많은 논의를 진행했던 e-fuel은 이제 결론이 필요하다고 본다. 탄소중립의 데드라인이 정해져 있고 의외로 시간이 얼마 안 남았기 때문이다. 저희가 처음부터 과연 e-fuel이 필요한가에 대한 논의를 지속해 왔지만 이제 e-fuel의 필요성은 이미 정부에서도 인정했다고 본다. 그 근거가 탄소중립녹색성장국가전략 제1차 국가기본계획으로 LCA와 e-fuel 기술개발 항목이 들어가 있는 것이다. 정책적으로 e-fuel은 이미 자리를 잡기 시작했고 지금 단계에서는 올해가 대단히 중요하다고 생각한다. 이제 정책의 변화에 따라 무엇을 해야하고 무엇이 필요한 지에 대한 구체적인 안을 정부에 제시해야 하기 때문이다.

이를 위해 관련 전문가들과 산업체 등 민간 중심의 워킹그룹을 형성해서 빠른 시간 내에 공감대를 확보한 정책안을 만들어 정부에 제시하고 그 다음에 비즈니스 모델을 만들어야 한다고 생각한다. 그러기 위해서는 우선은 조속히 분야를 떠나 관련 그룹간의 소통부터 만들어 내는 단계가 필요하다. 이미 여러 번 거론했듯이 에너지는 하나로 연결되어 있기 때문에 결국 e-fuel 산업은 현대자동차 혼자 고민해서 될 일도 아니고, 정유업체만이 고민해서 될 일도 아니다. 또한 한국자동차연구원이나 학계 역시 각각 따로 고민할 문제가 아니기 때문에 이 부분을 효율적으로 제시할 수 있는 워킹그룹을 통해 구체적인 안들을 만들어 가야만 우리가 원하는 기간 내에 새로운 국면을 기대할 수 있다고 생각하고 이를 위한 움직임이 구체화할 수 있도록 노력해 보고자 한다.

탄소중립 패러다임 전환기 다양한 가능성 준비해야

배충식 좌장 KAIST 기계공학과 교수

탄소중립을 위해 e-fuel 산업이 필요하다는 것은 깨닫기까지 상당한 시간이 필요했다. 그러나 이제 e-fuel 산업은 가능성이 아닌 꼭 필요한 탄소중립 핵심전략 중 하나로 조명받고 있다. 늦어진 만큼 해야 할 것도 많고 확인해야 할 것도 많다. 오늘 좌담회에서 주어진 시간은 한정적이지만 우리 산업 전반의 e-fuel 산업 동향과 여건 그리고 글로벌 산업동향을 확인하는 가치 있는 시간이었다.

남은 과제는 우리가 갖고 있는 잠재력을 글로벌 시장의 경쟁력으로 육성하고 관련 산학연에 신뢰할 수 있는 로드맵을 제공하여 강력하게 추진할 수 있는 정책의 수립인 것 같다. 마지막으로 좌담회를 통해 다양한 의견을 제시해 준 전문가분들께 다시 한번 감사의 말씀을 전해드린다.

Editor's Perspective

EU의 2035년 내연기관 신차 판매 금지에서 e-fuel이 제외되면서 주목을 끌고 있다. 지난해 커버스토리인 "전기차 올인 VS 하이브리드" 만큼이나 e-fuel에 대해서도 다양한 시각들이 존재한다. 미래 모빌리티로서 전 주기적인 친환경성을 확보할 수 있는 수단인지, 그리고 기술적, 경제적 측면에서 현실성이 있는지가 주요 쟁점이다.

서로 경쟁하는 대안인 만큼 전동화 모빌리티와 e-fuel에 대한 논의는 서로 닮은 측면이 있다. 첫번째로 친환경성 측면에서 화학연료를 사용한 발전이 이루어지는 환경에서 전동화 모빌리티를 친환경적이라고 할 수 있는가 하는 비판이 있는데 e-fuel도 탄소를 포집하고 연료로 생산하는 과정에서 많은 전기를 사용한다는 점에서는 동일한 문제점이 있다. 두번째로 현실성 측면에서 전기차는 리튬 등 자원 소모량이 크기 때문에 부존 자원 부족 및 원자재 가격 상승으로 현실적이지 않다는 비판이 있는데, e-fuel도 경제성이 낮고 충분한 양을 생산하여 공급하기 어려울 것이라는 비판이 있다. ※ 런던왕립학회(2023), 유럽운송환경연합(2022) 참고

그러나 이러한 이슈들은 기술 및 산업이 성숙되면서 자연스럽게 해결될 가능성이 높다. 예를 들어 친환경성 이슈는 전력 생산의 탈탄소화로 인해 향후 문제 소지가 줄어들 가능성이 높다. 현실성 측면도 전동화 모빌리티의 자원 문제는 과거 석유 고갈 우려가 현재는 불식된 것처럼 새로운 자원이 개발되고 나트륨 전지 등 대안적인 기술이 도입되면서 해소될 것으로 보이며, e-fuel의 경제성 우려도 탄소 포집 및 연료 생산의 경제성을 높이는 노력이 진척되면서 해소될 것으로 생각된다.

결국 경쟁하는 대안 가운데 더 빨리 완성도를 갖추는 대안이 더 널리 채택될 것으로 예상되는데 어느 한 가지 대안이 확실한 가능성을 보여주고 있지 못한 현재로서는 단일한 대안만을 고집하기 보다 여러가지 대안들에 대한 열린 관점이 요구된다.

글로벌 3강 도약을 위한 자동차 산업 대전환



산업통상자원부와 한국자동차연구원이 펼쳐갑니다.

- | 전동화 Top-tier 도약 | 생태계 전반의 유연한 전환 (Smooth Transition) | 안정적인 공급망 구축 | 자율주행 및 모빌리티 신산업 창출 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. 차량용 SW 반도체 생태계 강화 2. 전기-수소차 핵심 성능 강화 3. 투자 인센티브 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 부품기업 전환 2. 내연차 고도화·친환경차 3. 생태계 다양성 강화 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 미국 인플레이션 감축 법안 대응 2. 주요 시장별 맞춤형 전략 추진 3. 공급망 안정 및 핵심품목 국산화 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 자율주행 핵심기술 개발 2. 서비스 콘텐츠 개발 3. 환경조성 및 규제 혁신 4. HeIndustry의 융합 활성화 |

- | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> · 핵심역량 및 공급망 내재화 · 모빌리티 서비스 신산업 활성화 | <ul style="list-style-type: none"> · 자율차 개발 및 상용화 · 수소차 확산 | <ul style="list-style-type: none"> · 경쟁력 강화 및 생산능력 확충 · 대규모 수요 창출 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|

모빌리티 탄소중립을 위한 e-fuel의 역할, 그리고 미래를 위해 무엇을 준비해야 하는가?

모빌리티 탄소중립 우리 전략의 방향성 문제없나?

오는 2023년 7월 1일은 전기차 시대를 연 테슬라의 창업 20주년이 되는 해이다. 당시 테슬라는 2050년까지 내연기관 기반의 자동차가 24억대까지 늘어난다는 전망에도 '지속가능한 에너지로의 세계적 전환을 가속화 할 것'이라는 사명으로 탄생하였다. 또한 현대자동차는 약 10년 전인 2013년도에 세계 최초로 수소전기차 양산 모델인 '투싼 ix Fuel cell'을 출시하였으며, 현재는 세계 최고 연료전지 기술을 바탕으로 친환경 자동차 글로벌 제조사로 급성장하고 있다.

이처럼 모빌리티 분야에도 큰 변화의 바람이 불고 있다. 1963년 휘발유로 달리는 마차를 프랑스에서 시연한 이래 우리는 탄화수소계 연료를 지속적으로 사용하였다. 덕분에 인류는 장소와 시간에 구애 받지 않고 이동이 가능한 편리한 삶을 살아왔으나, 그만큼 오염되어 가는 지구를 더는 두고 볼 수 없는 상황에 이르렀다. 따라서 자동차 업계에서도 에너지 전환 패러다임의 일환으로 전기차와 수소연료전지 자동차에 대한 양산과 보급이 가속화되고 있다. 다만 이러한 움직임에 우려의 목소리가 있는 것도 사실이다.

현재 전기차에 공급되는 전기에너지가 100% 재생에너지원으로부터 발생하는 전력이 아니라는 점, 그리고 전 세계 수소 생태계 조성이 상대적으로 미진하여 수소전기차의 확장성이 침체될 거란 우려의 시선도 있다. 하지만 친환경 연료로의 패러다임 전환과 필요성에 대한 사회적인 공감과 점진적 합의로 인해 먼 미래에 도래할 모빌리티 분야의 탄소중립을 준비가 필요하다.

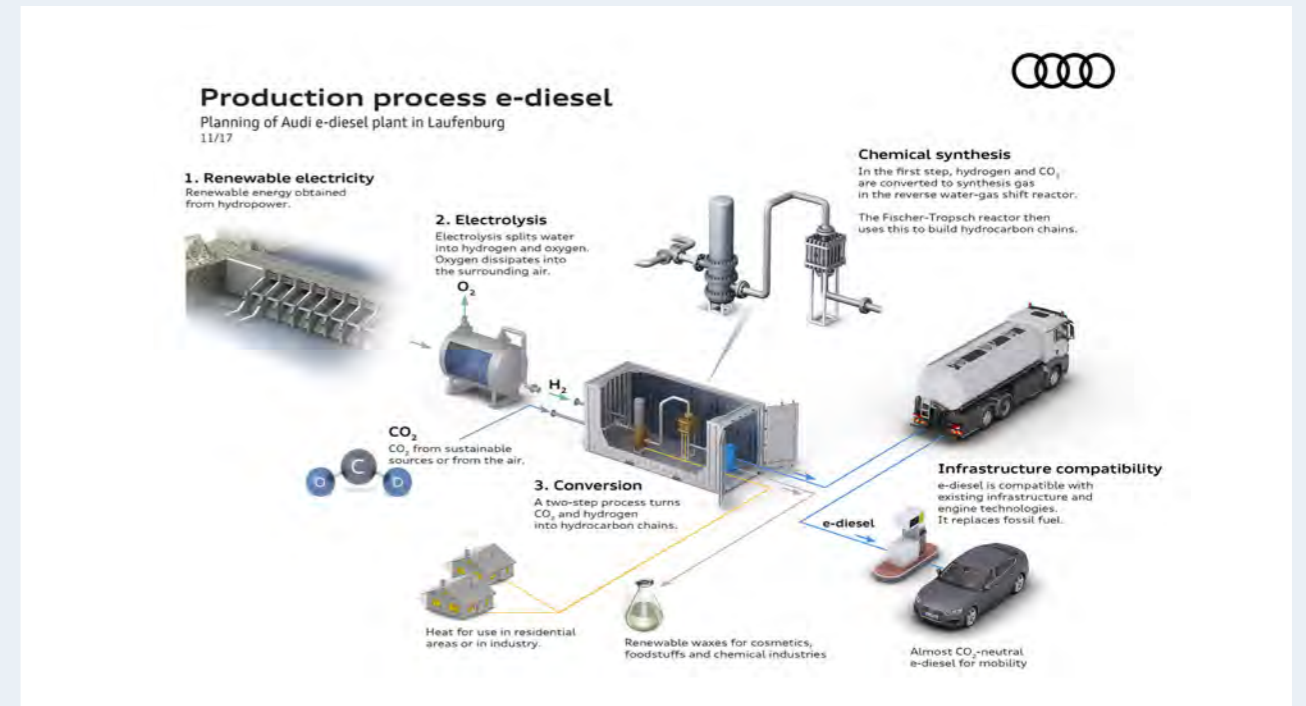
같은 목표, 다른 접근, 전동화 VS 탄소중립연료

미국, 중국, 한국의 전기차 및 수소전기차에 대한 양산 노력에 비해 전 세계 자동차 시장을 선도하였던 일본과 독일, 이탈리아를 비롯한 유럽의 전기차 및 수소전기차 양산에 대



박성호
고등기술연구원
플랜트엔지니어링센터 책임연구원

[Audi의 e-diesel 프로젝트 개요]



한 노력은 매우 미흡해 보인다. 유럽연합의 경우 EU 그린딜 정책을 통해 2035년까지 내연기관을 퇴출하기로 합의한만큼 그들이 모빌리티 탄소중립실현을 위한 정책을 마련하지 않는 것은 아니다. 그렇다면 그들은 과연 친환경 자동차 개발에 미온적인 것일까?

일본과 독일, 이탈리아를 비롯한 유럽은 모빌리티분야의 탄소중립의 대안을 우리와 다소 다른 시각과 관점에서 해석하고 해법을 찾고 있다. 그것은 바로 탄소중립연료라고 불리는 e-fuel인 것이다. 사실 e-fuel의 개념은 2013년부터 Power to X 기술과 태동을 같이했다고 봐도 무방하다. 그 당시 유럽은 재생에너지의 보급률이 상대적으로 높아 재생에너지의 간헐성(flexibility)으로 인해 전력계통의 신뢰도가 저하되는 문제를 해결하기 위해 전력계통에 공급할 수 없는 일부 재생에너지 전력을 수소로 전환하여 활용코자 하였다.

당시 수소를 직접 사용할 수 없는 산업 환경과 수소 저장을 위한 방안으로 기존 석유화학기반 인프라 활용을 고려하였기 때문에 포집된 CO₂와 합성하여 메탄이나 메탄올 혹은 디젤 연료를 생산하였다. 생산된 합성 연료는 자동차나 가정에서 재사용하거나 기존 석유화학기반 저장 인프라(LNG 공급 배관 등에) 저장할 수 있도록 함으로써 해당 기술에 대한 경제성 확보와 친환경 연료로서의 당위성을 확보하였다. 이것이 사실상 e-fuel의 시초라고 할 수 있다.

현재의 e-fuel은 재생에너지의 계통 신뢰도 확보와 대체에너지원으로 활용의 당위성 확보를 위한 개념보다는 탄소중립연료로서 기존 탄화수소계 연료를 대체할 수 있는 e-fuel 생산 전용 재생에너지 단지 구축과 대기 중 이산화탄소 포집(Direct air capture, DAC) 혹은 모

빌리티에서 배출되는 이산화탄소를 포집할 수 있는 MCC(Mobile carbon capture)와 결합하여 내연기관의 생존 전략으로 진화하고 있다.

독일의 경우, 포르쉐(Porsche)와 Siemens energy가 협력하여 칠레 남부 마갈라네스 지역에 연간 5억 5000만 리터의 e-fuel이 생산 가능한 상업용 플랜트를 구축하고 있다. 칠레 남부는 양질의 바람을 통해 저렴한 그린수소를 생산할 수 있으며, 대기 중 직접 포집 기술(DAC)을 통해 포집된 CO₂를 합성하여, e-메탄올, e-가솔린으로 생산된 후 독일 전역에 공급된다. 2027년까지 연간 5억 5000만 리터를 생산할 계획이며, 이는 국내 가솔린 소비량의 20%로 100만명이 1년 동안 차를 운영할 수 있는 정도이다.

이러한 움직임에 일본 완성차 제조업체는 환영하는 분위기이다. 일본의 대표적인 자동차 제조업체인 토요타는 일본 정유사인 에네오

[e-fuel로 시험 주행 중인 토요타 프리우스]



[Haru-oni 프로젝트 공사현장(좌) 및 개념도(우)]



스(Eneos)와 함께 포집된 CO₂와 그린수소를 합성해서 생산된 e-fuel을 토요타의 '프리우스' 차량에 공급하여 시험 운전을 성공했다고 발표하였다. 또한 에네오스는 현재 연구개발은 초기 단계이지만, 2028년까지 하루에 300 배럴의 생산능력을 가지는 준 상업용 시스템을 갖출 것을 목표로 하고 있다.

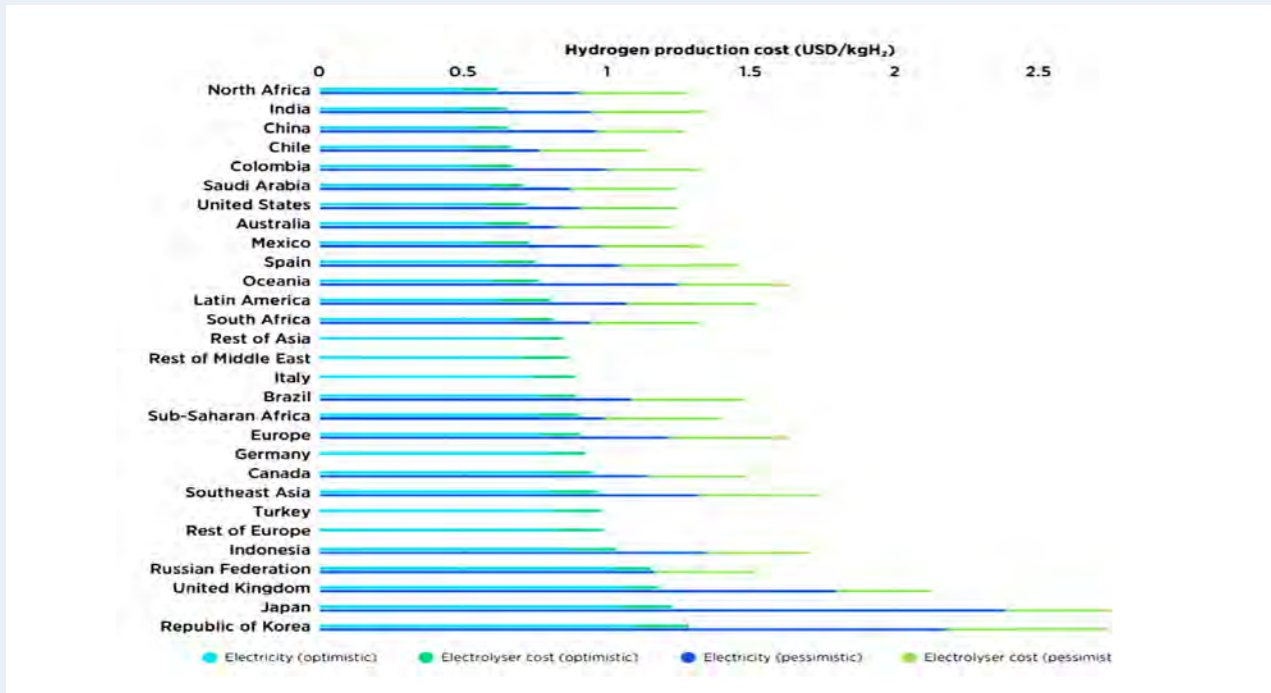
이와 같이 글로벌 완성차 업체에서 앞다투어 e-fuel 시장에 뛰어들어 따라 EU 집행위와 유럽의회, 27개 회원국으로 구성된 이사회에서는 2035년까지 휘발유 등 화석연료를 사용하는 내연기관차의 판매를 금지하는 법안을 개정하여, e-fuel 등 합성연료를 사용하는 내연기관차는 2035년 이후에도 판매가 가능하도록 허용하였다. 이러한 배경에는 독일의 e-fuel 합성 연료 사용 허용에 대한 비토권 행사가 큰 역할을 한 것으로 풀이되고 있다. 이처럼 글로벌 완성차 업체의

e-fuel 시장으로 진입에 주목할 필요가 있다.

탄소중립시대 우리는 무엇을 준비해야 할 것인가?

만약 우리나라에 보급되어 있는 차량이 모두 전기차로 전환되고 가정해보자. 2,500만대를 기준으로 80kWh의 배터리를 가지는 전기차로 전환될 경우, 우리나라는 이 모든 차량의 충전을 위해서 50,000 GWh의 전력생산 및 공급 인프라를 확보하여야 한다. 물론 하루에 이 중 10%만 완충을 한다는 조건을 부여하더라도 우리나라가 1개월 동안 평균 4,266 GWh의 전력을 사용하는 것을 감안하였을 때 대규모 전기차로의 전환이 전력계통과 인프라 확충에 많은 비용이 소요될 것으로 보인다.

[IRENA 2050년 주요국의 수소 생산원가 예측 결과]



그렇다면 e-fuel은 어떠한가? 우리는 이미 1만 개 이상의 주유소를 보급 운영하고 있고 대용량으로 원유를 저장할 수 있는 설비도 보유하고 있다. 따라서 우리가 모든 차량의 전동화에 소요되는 대규모 사회간접자본 투입과 국민적 합의까지 고려하면 어느 정도 e-fuel에 대한 운영방안과 제도적 마련이 필요할 것으로 보인다. 그렇다면 우리는 미래 모빌리티의 탄소중립실현을 위한 e-fuel을 위해서 무엇을 준비해야 할 것인가?

1. 저렴한 그린수소생산과 CO₂ 합성이 가능한 국외 생산기지 확보 필요

우리는 독일이 왜 칠레까지 상업용 플랜트를 구축하고 이들을 수입하려고 하는지 생각해봐야 한다. 결국은 값싼 e-fuel을 생산하기 위해서 저렴한 그린 수소 생산처를 확보하고, 대기 중의 CO₂와 합성하여 비교적 값싼 e-fuel 연료를 공급하려는 것이다. 포르쉐는 현재 수준의 e-fuel은 약 \$10 수준이지만 대규모 생산이 시작된다면 \$2까지 하락할 것으로 전망하고 있다. 이처럼 우리도 값싼 e-fuel을 생산할 수 있는 생산처를 확보하여야 한다.

좌측의 그림은 IRENA(International Renewable Energy Agency, 국제재생에너지기구)에서 발표한 2050년 주요국의 수소 생산원가 예측 결과이다. 한국과 일본의 경우, 지정학적인 요인과 기술적 한계로 인해서 최대 1.2 \$/kg-H₂ 수준의 수소 생산이 가능하나, 중국, 칠레 사우디, 호주의 경우 0.5~0.7 \$/kg-H₂ 수준의 수소생산이 가능한 것으로 예상된다. 따라서 우리는 우리나라보다 값싼 수소가 생산 가능한 곳으로부터 e-fuel과 같은 합성 연료를 대용량으로 합성하여 공급할 수 있는 방안을 모색하여야 한다.

[Carbon engineering(캐나다)의 기술개발현황(좌)과 개념도(우)]



2. 저렴한 CO₂ 포집 기술과 공급 시설 구축을 통한 생태계 완성 필요

모빌리티에 공급되는 e-fuel의 사용에 대한 당위성을 확보하기 위해서는 앞서 언급된 '모빌리티 탄소 중립실현을 위한 e-fuel 개념도'에 나타난 것처럼 CO₂ 포집이 선행되어야 하며, 포집된 CO₂를 통해 합성된 e-fuel이 실제 CO₂ 감축에 기여해야 한다. 감축 기여도에 대한 논의의 뒤에 더 자세히 다루도록 하며, 먼저 모빌리티에 공급되는 e-fuel이 진정한 탄소중립연료로 인정을 받기 위해서는 다음과 같은 두 가지 방안의 CO₂ 포집 기술이 고려되어야 한다.

첫 번째, 대기 중 직접 포집 기술(DAC)이다. 일반적으로 내연기관을 이용하는 모든 모빌리티는 대기 중에 CO₂를 배출하고 있다. 그렇다면 이러한 차량 1대당 배출하는 CO₂를 대기 중으로부터 포집하고, 이들을 다시 그린 수소와 합성한 후 다시 내연기관에서 이용한다면 이는 궁극적으로 '탄소중립(Carbon neutral)'인 상태가 된다. 따라서 누가 언제 어디서 배출하였든 이를 대기 중으로부터 포집하여 합성할 수 있는 기술의 기반을 구축한다면 실제로 e-fuel을 이용하는 모빌리티는 탄소를 배출하지 않게 된다. 두 번째는 모빌리티에서 직접 CO₂를 포집하는 'MCC(Mobile carbon capture)' 기술이다. 이는 내연기관이 대기로 배출되기 전에 모빌리티 내부에 설치되어 있는 CO₂ 포집 장치를 통해 포집/저장 하는 기술이다. 그리고 포집된 CO₂는 주유 과정에서 주유소에 저장하고 이를 e-fuel로 변환하여 활용하는 것이다.

아래의 그림은 캐나다 Carbon engineering사의 대기 중 CO₂ 직접 포집 기술의 개발 현황과 개념도를 나타낸 것이다. Carbon engineering사는 공기 중 직접 포집 기술 중 가장 대형화되고 장기 운영 노하

우를 보유한 것으로 알려져 있으며, 2017년부터 가솔린 전환 연구를 성공하고, 빌게이츠, chevron, BHP, Occidental 등으로부터 대규모 투자를 통해 상업화에 대한 속도가 가장 빠른 것으로 알려져 있다.

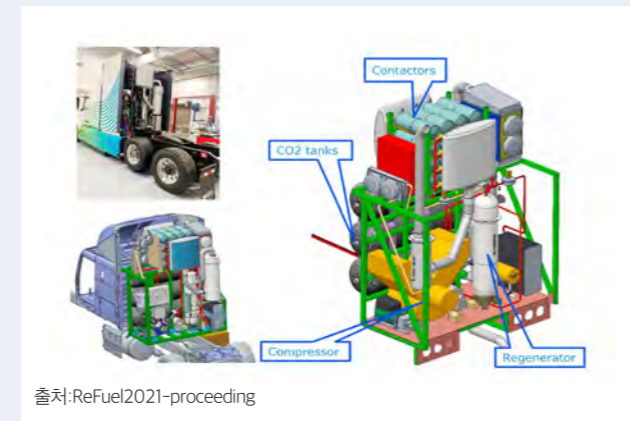
스위스의 Climeworks는 2009년부터 Audi와 협업하여 Power to gas 프로젝트의 CO₂ 포집기술에 대한 개발을 시작으로 최초로 흡착제 기반의 대기 중 CO₂ 직접 포집 기술의 상용 설비를 선보였으며, 현재는 연간 4000톤의 CO₂를 대기 중으로부터 포집하여 아이슬란드 지중에 저장하는 연구를 수행하고 있다. 현재 Climeworks의 대기 중 CO₂ 포집 기술은 \$1,050/ton-CO₂의 비용이 소요되며, 10년 이내에 \$100/ton-CO₂까지 낮출 수 있도록 하는 것이 목표라고 발표하였다.

CO₂ 포집에 대한 에너지와 비용은 CO₂ 포집 농도와 상관관계가 크다는 것이 전문가들의 지배적인 견해이다. 따라서 대기 중 CO₂ 직접 포집은 기존 배기가스로부터 포집하는 것에 비해서 에너지나 비용이 많이 소비될 것이라고 전망되고 있다. 따라서 비용이나 에너지 관점에서 접근하였을 때는 모빌리티의 내연기관에서 연소되어 대기 중으로 배출되기 전에 CO₂를 포집하는 것이 합리적일 수 있다. 따라서 MCC와 같이 내연기관에서 연소된 배기가스가 대기 중으로 배출되기 전 포집하는 기술들이 선보이고 있다. 세계 최대 석유생산 회사인 ARAMCO는 2010년 승용차의 배기가스를 포집하는 장치에 대한 개발을 시작으로 2020년 대형 트레일러에 탑재 가능한 흡수제 기반의 CO₂ 포집 장치로 배기가스 내 40%의 CO₂를 포집할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이와 같이 포집된 CO₂는 석유화학증진법(EOR)에 활용하거나 합성연료를 생산하는데 활용하고자 하는 것이 목표이다. ARAMCO는 이 기술을 토대로 Mitsubishi와 K-line, ClassNK와 함께 선박용 CCS 시장으로 진출을 모색하고 있다.

미국 스타트업 기업인 REMORA도 ARAMCO의 CO₂ 포집 기술과 개념은 비슷하지만 흡착제 기반의 CO₂ 흡수-분리 공정을 통해 CO₂를 포집-저장하는 기술을 선보였다. 미국의 경우 대부분 화물운송의 70%를 트럭에 의존하고 있으며, 이에 따라 트럭에서 배출하는 CO₂는 전체 산업의 7%를 차지할 정도이다. 따라서 트럭에 대한 탄소중립실현을 위한 필요성이 높아짐에 따라 높아진 시장 기대감에 부응하여 가장 상업화 수준까지 성장한 기술로 평가받고 있다.

한국에서도 모빌리티의 탄소중립실현을 위해 고등기술연구원-한국자동차연구원을 중심으로 산학연이 협력하여 적재중량 3.5ton 상용트럭의 배기가스를 포집할 수 있는 고성능 흡착제 기반 Mobile Carbon Capture 장치 개발에 착수하였다. 기존 REMORA사와 달리 보다 소형화되고, 고효율 열 제어시스템을 적용하여 낮은 CO₂ 포집 에너지가 소요될 것으로 기대되고 있다. 또한 상용차에 적합한

[ARAMCO(사우디)의 상용차 배기가스 내 CO₂ 포집 장치]



출처: ReFuel2021-proceeding

한 압축-저장 공정을 개발하여 향후 활용방안까지 고려하여 기술 개발이 진행 중이다.

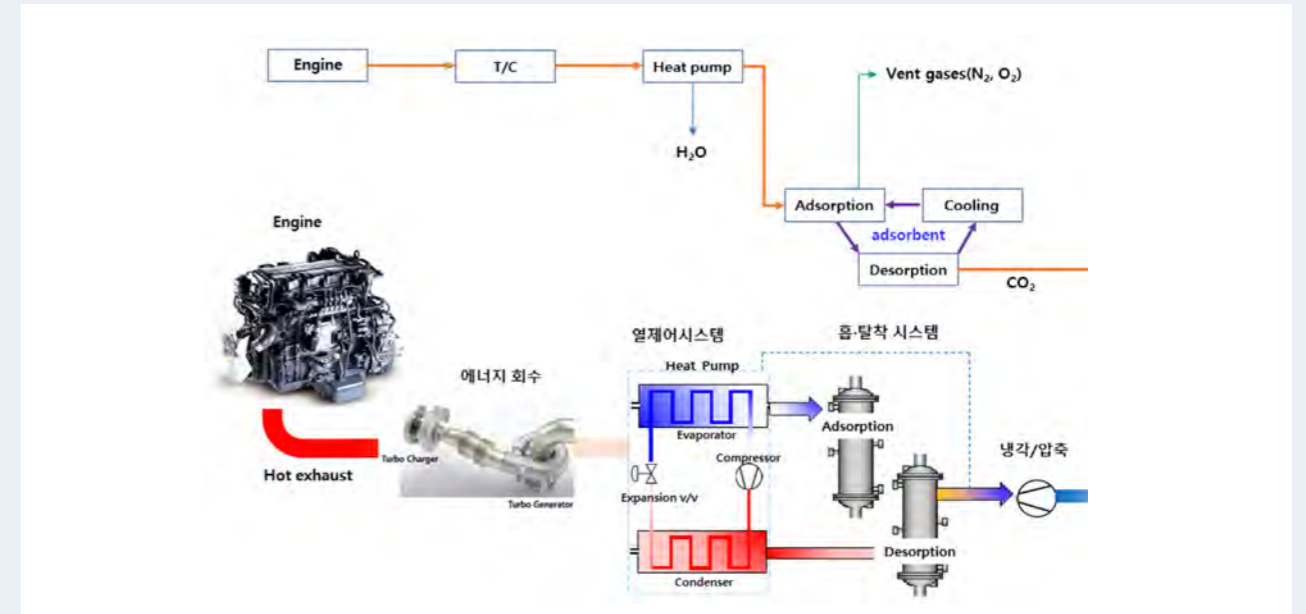
조선해양시장은 오히려 완성차 시장보다 심각하여 ARAMCO를 비롯한 글로벌 기업이 선박용 Mobile Carbon Capture 시장에 앞다투어 진입하고 있다. 글로벌 극저온 전문기업인 Chart Industry는 차세대 CCS 기술인 극저온 탄소포집기술(Cryogenic Carbon Capture)을 기반으로 선박 온실가스 저감시스템 개발을 착수하였다. Chart industry는 SES(Sustainable Energy Solution)의 극저온 탄소포집 기술을 인수하여, 1ton/day급 극저온 탄소포집 기술의 실증을 성공적으로 마치고 30ton/day급에 대한 상용급 실증을 추진 중이다. 기존 아민 흡수-액화공정에 비해 30% 이상 에너지가 절감되고, 모빌리티에 충분히 탑재 가능한 수준의 소형화를 이끌어 낸 것으로 알려져 있다.

[REMORA(미)의 상용차 배기가스 내 CO₂ 포집 장치]



출처: remoracarbon.com

[한국형 3.5톤 상용 트럭용 Mobile Carbon Capture 시스템 개략도]



한국에서도 글로벌 친환경 조선해양시장 선점을 위해서 stx 엔진-현대머티리얼-고등기술연구원을 비롯한 산-학-연에서 선박용 극저온 탄소 포집 공정 개발 실증 과제를 착수하였다. 기존 Chart industry와 달리 냉동사이클 없이 압축에너지를 효율적으로 열에너지로 전환할 수 있는 초음속 노즐기반 분리 포집을 통해 기존 아민흡수-액화 공정에 비해서 설치 공간을 절반 (24m³/ton-CO₂ 미만) 이상으로 줄이고, 에너지 소비량은 30% 이상 절감시킬 수 있는 공정을 개발하고 있다.

이와 같이 현재는 다양한 모빌리티에 적용 가능한 수준의 탄소 포집 기술과 경제성을 확보할 수 있는 대안이 제시되고 있기 때문에 기존의 DAC를 이용한 e-fuel뿐만 아니라 다양한 방식의 탄소 포집을 통한 e-fuel 생산 방식과 경제성 확보 방안에 대해서 고려해야 한다.

3. e-fuel의 탄소저감기여도 분석과 등급제를 비롯한 제도 마련 필요

현재 완성차 제조기업을 보유한 각 국에서 정의하고 있는 e-fuel에 대한 정의는 매우 상이하다. e-fuel alliance에서는 e-fuel 생산 시 합성에 필요한 CO₂는 대기 중 직접 포집을 통해 포집해야지만 진정한 탄소중립연료로 인정하는 분위기이다. 이러한 배경은 2036년 이후부터는 시멘트, 철강, 발전 산업에서 배출되는 CO₂를 산업에서 다시 이용할 수 없는 법안으로 인해서 CO₂를 대기 중으로 배출시킨 후 이를 대기 중 직접 포집을 통해 활용하는 것으로 보인다. 이렇게 할 경우 높은 CO₂ 포집 비용으로 경제성 확보가 어려울 것으로 보이나,

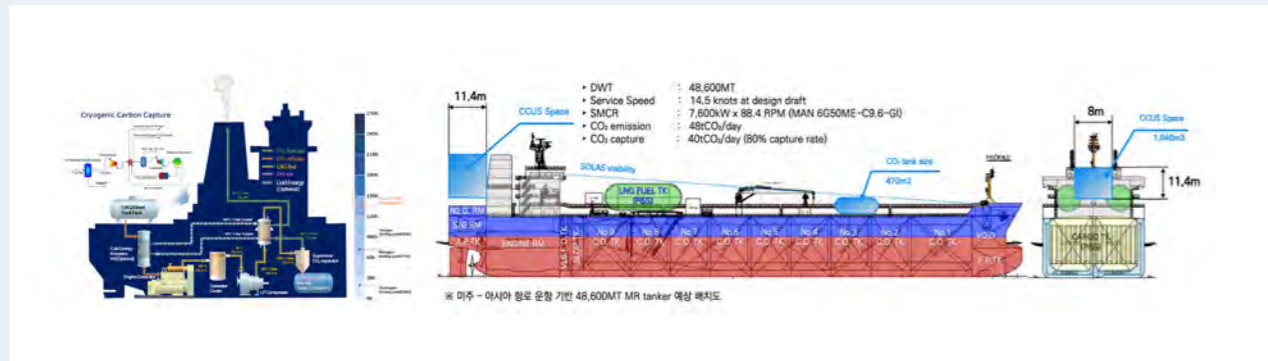
e-fuel alliance에서는 대용량화와 상업화를 통해 1리터당 생산비용은 0.7~1.33 EUR 정도 될 것으로 전망하고 있다. 사실 산업에서 배출되는 CO₂를 이용하여 e-fuel을 합성하는 경우도 분명 범국가적 CO₂ 감축에는 기여할 수 있는 것이 사실이다. 아래의 그림은 산업에서 배출되는 CO₂를 활용하기 전 범국가적 CO₂ 배출량과 e-fuel로 활용한 후 CO₂ 배출량을 비교한 결과이다. 만약 우리가 산업에서 배출되는 CO₂를 e-fuel 형태로 합성하여 모빌리티에 이용하면, 모빌리티에서는 기존대로 CO₂를 배출하지만, 산업에서 배출되는 CO₂는 감축할 수 있으므로 범국가적 차원에서는 50% 정도는 감축할 수 있다.

하지만 대기 중 직접 포집 기술과 Mobile Carbon Capture에 포집된 CO₂를 합성하여 다시 연료로 활용하는 것은 거의 완전한 탄소중

[TECO 2040 ASA와 Chart Industry의 극저온 탄소포집 공정 기반 선박용 CCS 시스템]



[한국형 선박용 극저온 탄소포집 공정 개요 및 선박 배치도]



립연료(Near e-fuel, 포집 및 합성 과정에서 배출되는 량 고려)이기 때문에 이들의 차이는 분명히 발생한다. 즉 비교적 저렴한 비용으로 산업 공정을 통해 배출되는 CO₂를 e-fuel에 이용할 경우, 탄소저감기여도는 대기 중 직접 포집 기술과 Mobile Carbon Capture를 이용한 e-fuel에 비해 확연히 낮지만 경제성을 확보할 수는 있을 것으로 보인다. 따라서 우리는 e-fuel의 탄소 출처에 따른 탄소저감기여도를 산업에서 분석하고 이에 따른 등급제를 시행을 준비해야 하며, 등급제에 따른 인센티브 차등제를 시행하여 각 산업에서 e-fuel을 원활히 생산하고 활용할 수 있는 기반을 마련해야 한다.

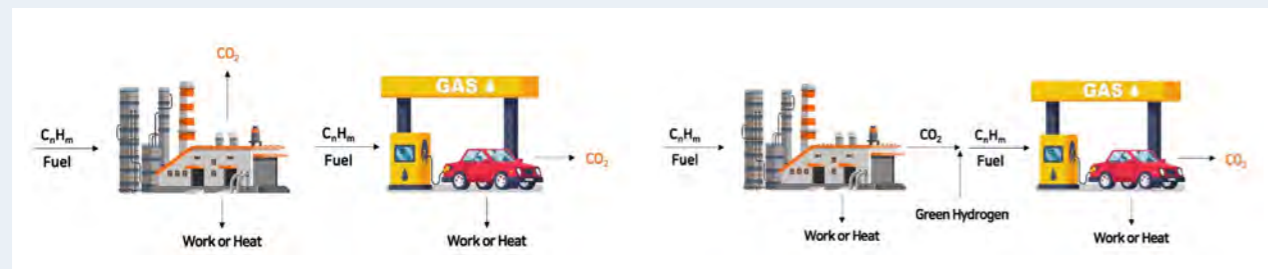
이제는 준비하고 도전해야 할 시기

우리는 기존보다 더욱 파격적이고, 적극적인 기술개발과 제도 개선을 통해 탄소중립을 실현하기 위한 대안을 수립해야 한다. 이것은 CO₂를 가장 많이 배출하는 제철, 발전, 석유화학 산업과 더불어 모빌리티도 벗어날 수 없는 숙제이다. 대부분 탄소중립을 위해서 전기나 수소에너지원으로 전환을 모색하고 있으나 70년 이상 탄화수소계 연료기반의 모빌리티 산업 구조를 단시간에 바꾸는 건 국민적 합의

와 대규모 사회간접자본 투입이 필요하다. e-fuel은 이러한 모빌리티의 탄소중립실현을 위한 마중물 역할을 할 것으로 기대되고 있다.

각국은 이를 위해서 저렴한 수소 생산이 가능한 해외자원개발과 CO₂ 포집 기술 개발에 노력하고 있다. e-fuel 기술이 정말 탄소중립실현을 위한 마중물 역할을 하기 위해서는 우리는 무엇보다 해외 저렴한 수소 생산기지의 확보와 대기 중 직접 포집 기술(DAC) 혹은 MCC 기술의 조속한 개발, 그리고 다양한 산업 군에서 포집된 CO₂를 활용하여 탄소저감기여도에 따라 등급제를 시행하여 조속한 e-fuel의 생산과 보급이 될 수 있는 기반을 마련하는 것이 시급할 것이다. 우리는 이제 새로운 방법과 발상의 전환을 통해 미래를 준비해야 할 것이며, 이러한 기술 개발로 모빌리티 산업과 완성차 산업의 우리나라 위상이 한 단계 도약할 수 있는 있기를 기대한다.

[산업 배출 CO₂ 활용 전 CO₂ 배출량(좌)과 산업 배출 CO₂의 e-fuel 활용 후 CO₂ 배출량(우) 비교]



한국자율주행산업협회는 급변하는 미래 모빌리티 산업에서 우리나라가 자율주행 관련 기술 우위를 확보하고, 산업 생태계를 선도할 수 있도록 다양한 민간기업, 대학, 유관기관 사이의 소통과 협업을 주도하고 있습니다.

또한, 협회는 자율주행 산업 생태계 활성화와 경쟁력 제고를 위해 정책기획, 기반구축, 산업진흥, 국제협력 등 산·학·연·관과 연계하여 주도적 역할을 수행함으로써 효율적인 사업 방향을 모색해 나가겠습니다.



탈석유시대, e-fuel 산업육성을 위한 국·내외 정책동향



오펠 E-Fuels C3-Mobility

세계 경제의 핵심 검은 황금 석유

세계 각국은 검은 황금을 대체할 수 있는 새로운 황금을 찾고, 선점하기 위해 움직이고 있다. 우리는 새로운 황금을 찾기 위해 어떤 노력을 하고 있을까?

현대 사회의 가장 중요한 에너지 자원 중 하나인 석유는 검은 황금이라고 불리운다. 석유는 그 양이 한정되어 있으면서, 현대 사회의 다양한 분야에 활용되는 등 막대한 경제적 가치를 지녔기 때문이다.

석유는 우리의 일상에 큰 영향을 주고 있다. 우리가 사용하는 각종 생활필수품의 기초 소재로 활용되는 등 의식주와 밀접한 연관을 맺고 있을 뿐만 아니라 우리가 이동하거나 물건을 운송하는데 있어 연료로도 활용되고 있다.

석유의 수송용 연료로서의 활용은 19세기 유럽에서 휘발유, 등유 등을 사용하는 내연기관이 처음 발명되면서 시작되었다. 이후 자동차 공업 등 산업이 발달함에 따라 점차 소비량이 많아지게 되었으며, 세계대전 등을 거치며 자동차뿐만 아니라 선박, 항공기 등 연료로 널리 사용되면서 현재는 국제 정세를 좌우하는 중요한 자원이 되었다.



강민수
한국에너지공단 신재생정책실 과장

검은 황금 석유의 새로운 패러다임

이러한 검은 황금, 석유도 기후변화 문제에 대한 국제적 공조 확대와 탄소중립 사회로의 전환으로 인해 새로운 전환점을 맞이하고 있다.

국제에너지기구(IEA)에 따르면 수송부문은 전 세계 최종에너지 소비량의 4분의 1을 차지하며 발전, 산업부문 다음으로 많은 에너지가 소비되고 있다. 또한 최종 사용부에서 배출되는 CO₂ 배출량의 40%가 수송부에서 배출되는 등 온실가스인 CO₂가 다량 배출되는 분야로 연료 소비의 90%를 석유가 차지하고 있는 상황이다.

탄소가 다량 배출되는 수송부문은 지속적으로 확대가 전망되고 있다. 전 세계적으로 경제와 인구가 확대되고, 생활수준이 향상됨에 따라 승객과 화물의 이동은 2050년까지 두배 이상 증가할 것이라는 전망이다.

이렇듯 시장의 확대가 예상되고, 탄소가 다량 배출되는 수송부문의 탄소중립으로 나아가기 위한 다양한 노력과 변화가 필요한 상황이다. 유럽(EU)의 경우 2034년까지 EU내 판매되는 신규 자동차에 대해 CO₂ 배출량(2021년 대비)을 승용차는 55%, 승합차는 50% 이상 의무적으로 감축해야 하며, 2035년부터는 신규 승용차 및 승합차의 CO₂ 배출이 금지되는 등 세계 각국은 수송부문의 탄소 배출에 대한 규제를 강화하고 있다.

이러한 탄소배출 규제에 따라 수송부문의 최종소비에 석유가 차지하는 비중은 점차 감소하여 2030년까지 약 75% 수준, 2050년까지 약 10% 수준까지 하락할 것이라고 전망(IEA)되고 있다.

검은 황금, 전동화만이 대안인가?

세계 각국은 검은 황금, 석유를 대체하기 위한 다양한 방안을 고민하고 있으며, 이러한 흐름에 따라 탄소배출을 줄일 수 있는 새로운 친환경 연료(Low-emissions fuels)의 개발을 추진하고 있다. 그러한 대체연료의 선두에는 청정에너지 기반 전기와 수소가 미래 수송부문의 주요 에너지원이 될 것으로 전망되고 있다.

다만 이러한 미래로 가기 위한 길은 멀고 험하다. 전기차, 수소차는 기존 내연기관의 에너지공급구조와 체계가 다르며, 인프라 구축에 많은 비용과 투자가 요구된다. 또한 전기차의 경우 핵심부품인 배터리의 원자재(코발트, 니켈, 리튬)에 대한 공급 및 가격 불안정성 존

재한다. 근래 러시아-우크라이나 사태로 인해 촉발된 에너지 위기 로 에너지 안보 확보의 중요성이 높아진 상황에서 해외자원에 의존하는 불안 요소가 존재하는 것이다. 또한 수소의 경우 저장 및 운송 등 아직 해결해야 할 기술적 이슈들이 산재한 상황이다.

이러한 문제점에도 우리의 방향성은 분명하고, 그것에 대응하기 위해 다양한 문제점을 해결해 나가야 할 것이다. 다만 수송부문의 탄소배출을 저감하여 탄소중립으로 가기 위한 다른 방법은 없을까? 또다른 새로운 황금은 없을까?

새롭게 주목받는 저배출 연료 e-fuel

국제에너지기구(IEA)에서는 탄소중립을 달성하기 위한 다양한 분야에 대한 분석을 추진(NZE 시나리오 기준)하며, 수송부문의 탈탄소화는 크게 두가지 변화에 달려 있다고 분석하고 있다. 첫 번째로는 전동화(electrification), 특히 도로 운송 부문에서 전기차 및 수소전기차 사용으로의 전환이다. 두 번째로는 항공 및 운송 분야에서 바이오연료, 수소 및 수소기반 연료와 같은 저배출 연료의 혼합 및 직접 사용이다.

이렇듯 전기와 수소연료 뿐만아니라 저배출 수소 기반 액체 연료(Low-emissions hydrogen-based liquid fuels)의 확대도 전망되고 있다. 석유 사용에 대한 대안으로 기존 인프라 활용을 장점으로 석유 수요를 줄이는데 어려움을 겪을 항공과 해운 부문 중심으로 확대될 것이라고 전망하고 있다.

이러한 미래 전망속에서 우리나라 산업 또한 저배출 수소 기반 액체 연료의 하나로 수송부문에 e-fuel(electro fuel)의 도입 가능성을 고민하고 있다.



포르세세계 최초 'e-fuel' 플랜트(칠레)



포르세 'e-fuel'



e-fuel은 재생에너지 전력을 활용하여 물을 전기분해 후 얻어진 수소에 CO₂ 질소 등을 합성하여 생산된 연료를 의미하며 다양한 연료 형태로 만들 수 있다. 예를 들어 메탄 생산을 통해 CNG 차량의 연료로 혼합 활용하거나, 에탄올 생산을 통해 휘발유 차량 연료로 혼합 활용할 수 있다.

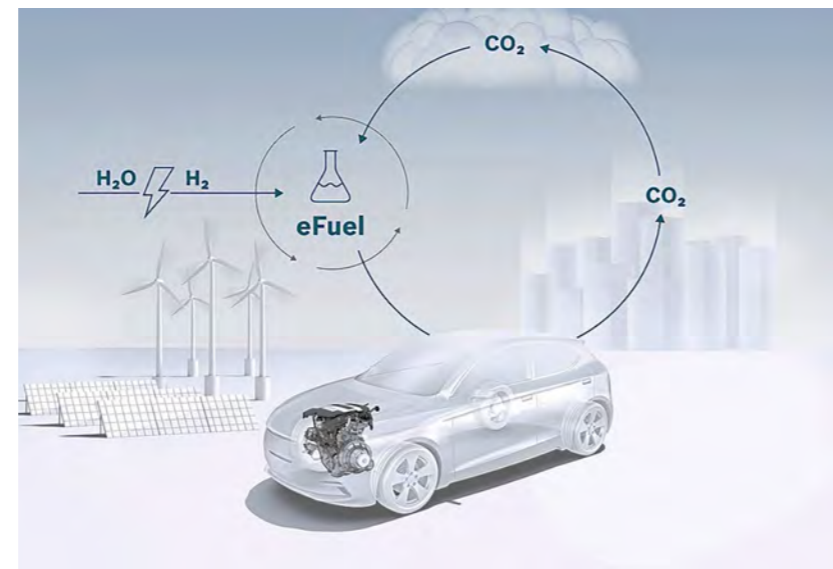
e-fuel은 생산과정에서 CO₂를 소비하여 전주기(LCA) 관점에서 탄소저감 효과가 있고, 기존 내연기관에 적용 가능하다는 장점이 있다. 연료 연소시에 CO₂를 배출하지만 대기의 탄소를 직접 포집(DAC)하는 등 탄소를 회수할 수 있고, 나아가 e-fuel 생산 시 포집한 CO₂를 활용하므로, 결국 기존 자동차 산업을 보호, 활용하면서 탄소중립 달성이 가능하다.

배터리 밀도 한계 등으로 전동화가 어려운 선박·항공 등의 분야에서 탄소중립 수단으로 높은 활용도를 지니고 있으며, 기존 기술 성숙도가 높은 차량에 쉽게 적용할 수 있기 때문에 차량 가격 상승에 대한 우려도 낮을 것으로 기대된다.

e-fuel의 도입 논의는 이제 되었다. 아직 연료 생산비용이 높고, 생산에서 소비까지 에너지 손실이 클 수 있어, 면밀한 검토를 통한 인프라 구축 등이 필요한 상황이다. 하지만 앞으로 더 저렴한 재생에너지의 공급과 CCUS(탄소포집, 활용 및 저장) 개발 등 큰 변화를 통해 수소 등 생산 기술을 개선하고 밸류체인 전반에 효율성을 높이기 위한 전용 프로젝트를 추진한다면, 연료 생산비용을 경쟁가능한 수준까지 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

글로벌 e-fuel 시장동향 e-fuel이 새로운 대안으로

일부 국가, 기업에서는 이미 e-fuel을 효과적으로 생산하고 활용하기 위한 방안을 검토중에 있다. 독일 Audi社에서는 지난 2018년 3월 e-gasoline 생산을 통한 엔진 실험에 착수한 바 있으며, 노르웨이 Norsk e-fuel사에서는 항공분야 활용위해 100% 재생에너지 사용을 통한 수소 생산과 이를 이용한 e-fuel의 생산 및 실증화를 추진중에 있다. 미국의 HIF Global은 2022년 12월 칠레에 e-fuel 생산 파일럿 플랜트를 건설하였으며, 풍력 발전을 통해 생산된 전력을 활용하여 e-fuel을 시범적 생산을 시작하였다. 더불어 미국 텍사스에 세계 최대 규모의 e-fuel 생산설비 구축을 통해 연간 7억 리터의 e-fuel을 생산할 계획이다. 일본의 경우 연료의 탄소중립화를 위하여 e-fuel의 대규모화 및 기술개발 지원하고, 도요타, 닛산, 혼다 등 일본 주요 자동차 회사들도 각각 e-fuel 연구개발에 매진하고 있으며, 정유사인 ENEOS도 e-fuel 생산을 준비중에 있다. 한편 EU에서는 2035



년부터 내연기관차 판매를 금지하면서 예외적으로 e-fuel을 사용하는 내연기관차는 계속 판매할 수 있도록 허용하기도 했다.

우리나라의 e-fuel 산업 글로벌 트렌드보다 뒤쳐져

이렇듯 미국, 유럽, 일본 등 세계 각국에서 e-fuel에 대한 기술개발 및 실증, 지원이 이루어지고 있다. 이러한 흐름에 e-fuel은 대체연료로서 시장에 안정적으로 정착할 수 있을지, 또 지속 가능한 미래의 새로운 방향을 선도할지, 관심이 확대되고 있다.

우리나라도 지난 '21.4월 정부 중심으로 '수송용 탄소중립연료 연구회' 발족을 통해 e-fuel의 국내 도입 가능성을 점검하고 있다. 주기적인 연구회 활동을 통해 e-fuel의 적용 필요성을 검토하여, e-fuel 활용 위한 정책적·기술적 과제를 제시하였다. 정부뿐만 아니라, SK 트레이딩인터내셔널(SKTI) 등 국내기업에서도 e-fuel 분야에 투자하는 등 e-fuel 생산·활용에 힘쓰고 있다.

현재 국내 e-fuel 도입과 관련하여 본격적인 논의가 시작되는 단계로 산업을 확대하기 위한 전용제도는 미비한 상황이다. 다만, 활용 가능한 다양한 제도를 이미 운영중에 있으며, 그중 대표적인 제도로 RFS(Renewable Fuel Standards) 제도가 있다.

RFS 제도는 수송용 연료에 바이오연료를 일정비율 혼합하여 사용토록 의무화하는 제도(경유에 바이오디젤 혹은 휘발유에 바이오에탄올)이다. 수송용 연료의 온실가스 배출 저감을 목적으로 전세계적으로 다수의 국가에서 도입하여 운영중에 있으며, 특히 미국, 브

라질 등에서 활용중인 제도이다, 우리나라의 경우에도 시범사업 등을 통해 '15년부터 석유정제업자, 수출입업자 등 혼합의무자에게 자동차용 경유에 일정비율 이상의 바이오디젤을 혼합('23년 3.5%)하여 공급하도록 의무화하도록 하고 있다. 앞으로 e-fuel 도입과정에서 RFS제도를 활용한다면 초기 시장 마련도 그리 어렵지 않을 것으로 예상된다.

수송부문의 e-fuel의 잠재량은 무궁무진하다. 탄소중립 추진 과정에서 현재 석유 중심의 구조에서 미래 대체연료인 전기, 수소를 연결할 수 있는 연결고리로서 기존 내연기관을 활용한 현실적인 보급 가능성 등 산업적 이점을 지녔다. 또한, 국내 RFS 제도 이행과정에서 이슈가 되는 해외자원(원료)에 대한 의존 부분에 대해 e-fuel을 통해 해외자원 의존도를 줄이고, 국내 연료를 통한 탄소저감을 이룰 수 있는 것으로 보인다. 더불어 e-fuel이라는 새로운 흐름을 이용하여 우리나라도 연료 생산국으로서 도약할 수 있는 기회를 잡을 수 있을 것이다.

e-fuel의 논의는 이제 막 시작되었고, 산업을 위한 다양한 준비가 필요한 상황이다. e-fuel 도입을 위한 LCA 분석, 전용 엔진의 개발과 연료의 개발, 비용효율화, 시범사업 등 준비해야 것들이 산재해 있다.

하지만 검은 황금을 대체할 수 있는 새로운 황금을 찾기 위해서는 한번 도전해 볼만 하지 않을까?

화석연료 대신 넣을 미래대체연료 찾기 위해 '분주'



포스코의 아르덴나 리튬 생산 염수저장시설



유럽연합 탄소감축 속도 더 빨라져

지난 2021년 7월 유럽연합(EU) 집행위원회는 탄소감축을 위한 입법안 패키지인 'Fit for 55'를 발표했다. Fit for 55는 2030년까지 탄소배출량을 1990년 수준 대비 55% 감축하기 위해 마련한 것으로 탄소 가격결정 관련 입법안 4개, 감축목표 설정 관련 입법안 4개, 규정 강화 관련 입법안 4개와 포용적 전환을 위한 지원대책인 사회적 후기금으로 구성됐다.

이 중 규정 강화 관련 입법안 4개는 △승용차&승합차 탄소배출 제한 기준 강화 △대체연료를 위한 인프라 규정 개정 △항공운송 연료 기준(ReFuelEU) 마련 △해상운송 연료 기준(FuelEU) 마련이다. EU 회원국들은 집행위원회가 제안한 입법안에 대한 협의를 진행, 최근 합의안들을 내놓았다. 지난 3월 EU 주재 각국 대사들은 휘발유, 경유 등 화석연료를 사용하는 내연기관차의 판매를 금지하는 방안에 합의했다. 이 합의안의 주요 내용은 먼저 차량 제조사들이 2035년 이후 판매하는 신차의 탄소배출량을 100% 감축해야 한다고 규정한다. 또 2030년까지 신차 탄소배출량을 2021년 대비 55% 줄인다는 내용도 담겼다. 이는 기존 감축 목표치인 37.5%보다 훨씬 높아진 것이다.

승합차의 경우 2030년 기준 신차 탄소배출량 감축 목표치가 2021년 대비 50%로 상대적으로 조금 낮게 설정됐지만 2035년부터는 배출량을 0으로 만들어야 한다는 점에서 차이가 없다. 다만 연간 1만 대 미만을 생산하는 소규모 차량 제조사에 대해선 2036년까지 내연기관차 판매를 허용했다.

탄소중립 속도전에 등장한 새로운 대안 e-fuel

집행위원회는 회원국들이 이 합의안을 최종 승인하면 탄소를 배출하지 않는 연료만을 사용하는 차량 분류를 신규 등록 대상 차량 분류 아래에 신설하고 이 차량이 어떻게 2035년 내연기관차 배출 목표에 기여할 수 있는지 관련 규정을 제시할 예정이다. 이를 통해 2035년부터 이산화탄소를 배출하지 않는 차량만 신규 등록하게 해 내연기관차를 퇴출할 계획이다. 다만 e-fuel 등 합성연료를 사용하는 내연기관차는 계속 판매할 수 있도록 허용하기로 했다. 이는 독일이 강력하게 요구했기 때문이다.

독일은 e-fuel 등 합성연료가 재생에너지와 공기에서 채집한 탄소를 생산되는 탄소중립 원료인 만큼 합성연료를 사용하는 내연기관차를 예외로 인정하지 않으면 합의할 수 없다면서 비토권을 행사하며 강력히 반대했다. 대표적인 합성연료인 e-fuel은 그린수소와 이산화탄소 등 탄소 자원으로 제조한 합성연료로 제조 방법과 반응 조건에 따라 메탄-메탄올-가솔린 등 다양한 형태로 제조할 수 있어 수송용 대체 연료로 사용할 수 있는 친환경 연료다.

e-fuel은 연소 시 이산화탄소를 배출하지만 제조 시 CO₂를 활용하고 완전 연소 비율이 높아 기존 경유차 대비 미세먼지와 온실가스 배출량이 20~40% 수준이다. 특히 생산 과정 특성상 황 성분을 전혀 포함하지 않아 대기 산성화도를 40% 이상 감소시킬 수 있다. 또 부피당 에너지밀도가 높아 수송용 연료로서 주행거리나 주유시간이 수소나 배터리보다 우수하고 기존에 사용하던 내연기관차와 인프라를 그대로 사용할 수 있고 석유 제품과 혼합해서 사용할 수 있어 전동화가 어려운 항공·선박 등 수송부문 전반에 적용할 수 있다.

EU는 독일의 요구를 반영해 e-fuel 등 합성연료를 사용하는 내연기관차를 2035년 이후에도 판매할 수 있도록 허용하는 법안을 집행위원회가 제안토록 하는 규정을 포함시켰다. EU는 합성연료를 항공기와 선박에서도 사용하는 것을 장려할 것으로 보인다.

EU, 선박·항공 중심으로 저탄소 연료 사용 제도화

내연기관차 판매 금지 법안이 승인되기 나흘 전인 3월 23일(현지시간) 유럽의회와 유럽이사회는 유럽의 모든 항구에서 선박이 사용하는 에너지의 온실가스 총량을 규제하고 지속가능한 해운 연료 개발 및 제로배출 기술개발을 장려하기 위한 '해상연료 이니셔티브(FuelEU Maritime Initiative)'에 잠정 합의했다. 합의안에는 합성연료와 관련된 규정이 포함됐다. 비생물계 재생에너지 연료(RFNBO)로 분류된 연료를 사용하면 인센티브를 제공하고 추가 자본 비용과 위험을 반영하기 위해 2035년부터 10년 동안 탄소 배출량 저감 정도를 두 번 계산할 수 있다. 결과에 따라 표준 보상보다 2배 이상의 보상을 받을 수 있다.

또 2034년까지 선박용 연료 믹스의 1%를 수소기반연료로 채운다는 목표를 설정하고 해당 목표를 달성하지 못할 것으로 예측되면 2031년에 수소기반연료의 점유율을 2%로 상향한다는 내용이 포함됐다. 이는 수소기반연료 사용을 독려하는 조항이 필요하다는 유럽의회의 의견이 반영된 것이다.

EU 집행위원회, 유럽의회, 유럽이사회는 4월 26일(현지시간)에 '지속가능항공유(SAF)' 사용을 의무화하는 '리퓨얼EU(REFuelEU)' 법안의 최종 타협안에 합의했다. SAF는 바이오연료, 폐식용유 등을 활용해 만드는 대체 항공유로, 원료 공급부터 소비까지 탄소 배출량이 최대 80% 감축된다. 2025년부터 EU 27개국 전역 공항은 항공기에 급유할 때 기존 항공유에 SAF를 최소 2% 이상 섞어야 한다. 의무 포함 비율은 2025년 2%로 시작해 2030년 6%, 2035년 20%, 2050년 70% 등 단계적으로 확대된다. 이같이 EU는 자동차, 선박, 항공기 등 역내 수송부문에서 탄소를 줄이고자 합성연료 사용을 독려하기 위한 내용을 각 합의안에 포함시켰다.



박상우
데스크 기자



아모지 암모니아 동력 세미 트럭

우리의 목표는 탄소중립! 대안으로 부상 중인 암모니아, 수소

합성연료뿐만 아니라 기존 화학물질을 연료로 사용하기 위한 개발도 한창이다.

미국 암모니아 연료전지시스템 전문기업인 아모지(Amog)는 1월 17일(현지시간) 미국 뉴욕주 스톤브룩대학교 주행시험장에서 암모니아 연료전지시스템을 장착한 독일 다임러트럭AG 산하 미국 대형트럭 전문기업인 프레이트라이너(Freightliner)의 클래스8 트럭인 카스카디아의 주행 시험에 성공했다고 밝혔다.

클래스8 트럭은 차량총중량이 약 15톤에 이르는 미국 최대 규격의 대형트럭으로, 영화 트랜스포머의 주인공인 옵티머스 프라임이 이에 해당된다. 대형차량을 암모니아로 주행한 건 이번이 세계 최초다. 아모지는 8분간 트럭에 완충한 액체암모니아로 생성한 900kWh의 전기에너지를 활용해 여러 번 주행시험을 진행했다. 암모니아를 연료로 활용하기 위한 시도는 오랜 세월 동안 진행됐으나 냄새가 심하고 금속을 부식시키는 성질 때문에 상용화에는 실패했다.

지금의 디젤엔진을 개발한 루돌프 디젤은 1884년 무렵 증기기관의 증기 대신 가열한 암모니아 증기를 쓰면 열효율을 높일 수 있다고 보고 7년간 연구했으나 현실적으로 사용할 수 없다고 판단, 공기를 압축시켜 높은 열로 연료를 점화시키는 방식의 디젤엔진을 개발했다. 약 50년 후인 1933년 노르웨이에서 암모니아 엔진을 탑재한 트럭이 제작되고 1943년 벨기에에서 석유공급이 원활하지 않아 암모니아 연료 탱크를 장착한 버스가 나오기도 했다. 이후 암모니아 연료 자동차의 필요성이 크게 떨어지고 가격이 다른 자동차보다 상대적으로 높아 자취를 감췄다. 2000년대 들어 미국 아이오와주립

대에서 암모니아디젤 혼소 시스템과 암모니아DME 혼소시스템을 적용한 압축식 점화 엔진 연구가 진행됐으며 2007년에는 미국 미시간대학이 암모니아 가솔린 혼소엔진을 탑재한 차량을 제작해 디트로이트에서 샌프란시스코까지 시험주행을 성공적으로 마쳤다.

2013년 5월에는 한국에너지기술연구원이 가솔린과 LPG를 병행 사용하는 바이퓨얼 엔진이 탑재된 모닝 바이퓨얼(Bi-Fuel)을 기반으로 액체암모니아와 가솔린을 혼합 사용하는 암모니아 가솔린 혼소 자동차인 '암비(AmVeh)'를 선보이기도 했다. 이같이 오랜 세월 동안 암모니아 연료 자동차를 개발해왔으나 가용성, 취급용이성, 안전성, 에너지밀도 및 연소 특성 등을 해결하지 못해 결국 상용화에 실패했다. 이런 가운데 아모지가 암모니아 수소연료전지 탑재 대형트럭의 주행시험을 성공적으로 완수함에 따라 암모니아 연료 자동차 상용화 가능성이 다시 커지고 있다.

또한 미래 친환경 에너지원으로 주목받는 수소를 내연기관의 연료로 사용하기 위한 움직임도 있다. 대표적으로 일본의 도요타자동차는 수소엔진차를 개발하고 있다. 도요타 유럽법인은 2022년 12월 수소엔진차 프로토타입인 '코롤라 크로스 H2(Corolla Cross H2 Concept)'를 공개했다. 도요타는 2021년과 2022년 아시아 단일 지역 최대 내구 GR대회인 슈퍼 다이큐 시리즈에 출전한 GR 코롤라에 탑재된 1.6리터 3기통 터보 수소엔진과 수소전기차 미라이에 적용된 수소탱크 패키징을 코롤라 크로스 H2에 장착했다.

엔진에는 슈퍼 다이큐 시리즈에 참가하면서 확보한 데이터를 바탕으로 개발한 고압수소 직분사 엔진 기술이 적용됐다. 이를 통해 수소연소력이 기존 수소엔진보다 24%, 토크는 33% 증가해 기존 가솔린 엔진과 동등한 동적 성능을 확보했다. 또 항속거리는 약 30% 연장되고 재급유시간은 약 5분에서 1분 30초로 단축됐다. 도요타는 코롤라 크로스 H2의 상용화 과정이 약 40% 진행됐으며 현재 일본 북부에서 혹한 테스트를 시행하고 있다고 밝혔다. 그러나 수소엔진차의 품질이 기존 내연기관차의 품질까지 도달하지는 아직 말할 수 없다고 할 정도로 불확실성은 여전하다.

탄소 관련 규제 계속 강화 기업엔 시간과 자금이 없다.

화석연료를 대체할 수 있는 미래대체연료를 찾는 것은 점점 강화되고 있는 탄소 관련 규제와 내연기관을 대체할 친환경 시스템인 수소연료전지와 배터리의 보급속도가 좀처럼 나지 않는 것에 대해 대응하기 위함이다. 영국은 2030년부터 내연기관차 판매를, 2035년부터는 내연기관을 탑재한 하이브리드카 판매를 전면 금지한다. 미국



한국에너지기술연구원 암모니아 차량 '암비'



코롤라 크로스

캘리포니아주와 뉴욕주, 캐나다 퀘벡주는 2035년부터 내연기관차 판매를 전면 금지하기로 했다. 여기에 국제해사기구(IMO)와 국제민간항공기구(ICAO)도 탄소배출 규제를 강화하고 있다.

총톤수 400톤 이상의 선박으로서 국제항해에 종사하는 선박은 기관출력 제한장치 또는 에너지효율개선장치 등을 통해 선박에너지 효율지수(EEXI) 기준치를 충족시켜야 하며, 저탄소 연료 사용, 최적항로 운항 등을 통해 탄소집약도지수(CII) 기준치를 만족시켜야 한다. 이런 가운데 IMO는 오는 7월 선박의 온실가스 배출을 추가로 규제하는 구체적인 전략을 내놓을 예정이다.

ICAO의 탄소배출규제인 코르시아(CORSIA)에 참여하는 국가 간 국제노선을 운항하는 항공사는 2019년부터 매년 이산화탄소 배출량에 대한 산정(Monitoring), 보고(Report), 검증(Verification) 3가지를 뜻하는 MRV를 시행해야 하며 2021년부터는 MRV를 통해 최종 산정된 탄소 배출량에 대해 2020년 배출량 수준을 초과하는 양을 상쇄 의무량으로 설정하고 항공사는 배출권을 구매해 이를 상쇄해야 한다. 이 때문에 탄소를 배출하지 않고 내연기관의 역할을 할 수 있는 수소연료전지와 배터리의 사용처와 보급이 확대되고 있으나 문제점이 있다.

먼저 수소연료전지의 전극 촉매로 쓰이는 백금, 배터리의 양극재 소재인 리튬 등 핵심 소재의 가격이 상당히 부담스럽다. 핵심 소재의 가격은 수소연료전지와 배터리뿐만 아니라 이를 탑재한 제품의 가격까지 영향을 주기 때문이다.

무엇보다 공급이 불안정하다. 예를 들어 '하얀 석유'라 불리는 리튬의 경우 전기차 보급 급증으로 수요가 단기적으로 크게 변하나 생산은 1~2년 단위로 계획되고 광산 개발은 4~7년이 소요돼 수급 불일치가 빈번하게 발생하고 있다. 이에 따라 리튬의 가격 변동 폭이 다른 원자재보다 매우 크다.

또한 수소연료전지와 배터리를 모든 곳에 적용할 수 없다. 예를 들어 세계 최대 모빌리티 관련 독립엔지니어링 기업인 AVL이 2021년에 내놓은 보고서인 '9th AVL Large Engine Techdays'에 따르면 1만 4,770TEU급 컨테이너선을 기준으로 아시아-유럽 노선에서 소요되는 약 7000톤의 HFO 연료를 대체하기 위해서는 약 16만 톤의 배터리가 필요한 것으로 나타났다. 이를 부피로 환산하면 거의 컨테이너 화물과 유사한 수준의 배터리 저장공간이 추가로 필요하게 된다.

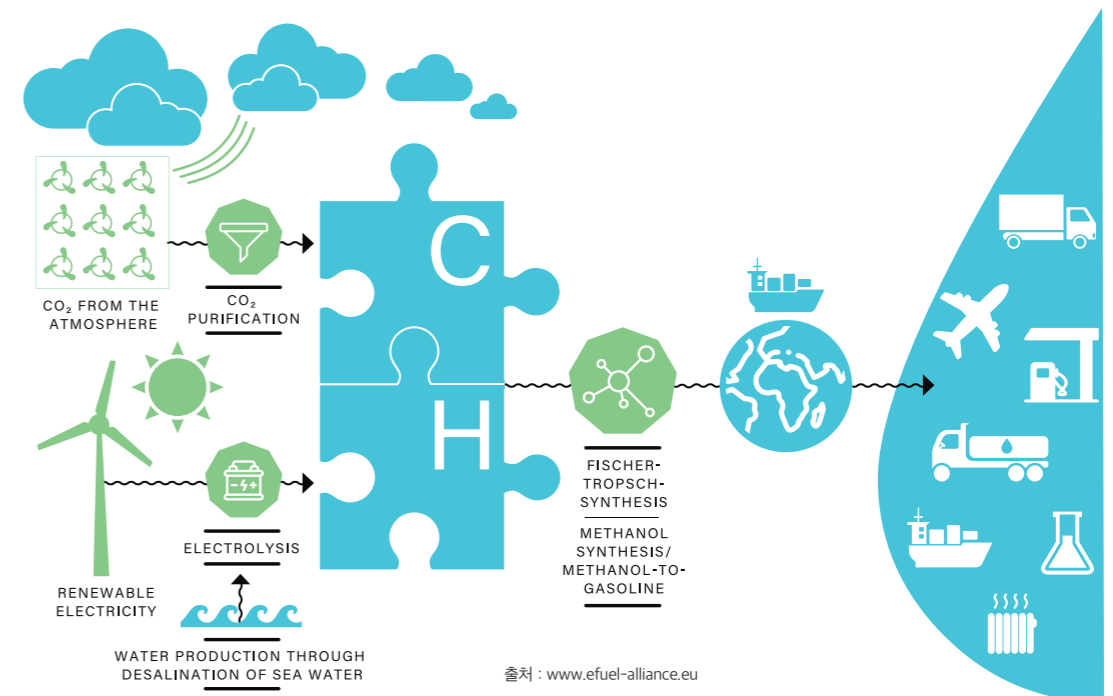
배터리로 가는 순수전기차가 수소전기차만큼의 주행거리를 확보하기 위해선 배터리 용량이 커야 한다. 이를 위해선 많은 배터리가 탑재돼야 하나 배터리가 많아지면 차량의 무게가 늘어 가속력이 떨어지고 충전시간이 증가하고 오히려 주행거리가 줄어든 가능성도 있다. 그래서 충전시간과 사용시간이 배터리보다 우수한 수소연료전지를 적용하려 한다. 그러나 수소연료전지는 비용이 많이 들고 충전 인프라가 부족하며 열악한 사용환경에서의 내구성 확보 등의 기술적 성숙도가 낮아 수소모빌리티가 활성화되기까지 많은 시간이 필요하다.

무엇보다 수소와 전기를 생산할 때 주로 석유, 석탄, 천연가스 등 화석연료를 사용하는 데다 리튬, 니켈, 백금 등 핵심 소재를 채굴할 때 환경에 부정적인 영향을 주는 부산물이 발생하고 엄청난 양의 지하수를 사용하기 때문에 친환경 에너지라고 정의하기엔 아직 멀었다는 주장도 있다. 이러한 수소연료전지와 배터리의 문제점을 해결하기까지 많은 시간과 비용이 필요하나 전세계적으로 탄소 관련 규제가 점점 강화되고 있어 기업엔 시간과 비용이 없다.

수소연료전지와 배터리의 문제점이 해결되고 사용처와 보급이 충분히 활발해질 때까지 강화되는 탄소 규제에 대응하고자 기존에 사용하던 내연기관과 인프라를 그대로 사용할 수 있는 대체연료를 찾는 것이다.

재생합성연료(e-fuel) 산업 및 활용 기술 동향

[그림 1] 재생합성연료(e-Fuel) 생산방법



출처 : www.efuel-alliance.eu

재생합성연료(e-fuel)의 개념

e-fuel은 풍력, 태양광, 원자력 등의 신재생 무탄소에너지를 사용하여 수천 해 과정을 거쳐 생산된 청정 수소(H2)를 공기 중 직접 탄소 포집(DAC: Direct Air Capture) 혹은 탄소 포집 및 활용(CCU: Carbon Capture Utilization)을 통하여 얻은 이산화탄소(CO₂) 등과 합성하여 제조한 연료이다[그림 1].

게다가 e-fuel은 기존 인프라를 활용한 안정적 연료공급이 가능하며, 연료 옥탄가, 기화점 등을 인공적으로 조정하여 엔진 특성을 고려하고 성능개선을 위한 맞춤형 연료 제작이 가능하다. 액체연료로 현재 엔진에 쉽게 적용할 수 있고 동력 밀도, 에너지밀도가 높은 장점이 있다.

전기차, 수소차를 중심으로 수송 동력의 미래 모빌리티 에너지원 전환 시 기존 내연기관 자동차에 e-fuel을 혼용 또는 전용으로 사용할 수 있다면, 자동차 산업의 유연한 전환(Smooth Transition)이 가능하도록 완충작용 역할이 가능하다. 추가로 향후 전동화가 어려운 대형 수송부문(항공, 컨테이너 선박) 및 잔류 내연기관(중대형 상용차, 군용차 등) 산업에서 e-fuel 이용 기술 개발과 이로 인한 지속 가능한 탄소중립 기술로 자리매김할 수 있다.

석유 및 e-fuel 연료는 상온에서 액체 상태로 존재하기에 단위 부피당 저장할 수 있는 에너지밀도가 높으며 이러한 특성은 국가간 또는 지역간 운반할 때 이동성이 좋다. 상온에서 액체 상태로 존재하며 에너지밀도가 높다는 장점은 발전소에서 생산된 잉여 에너지 저장에 용이한 장점이 있다.

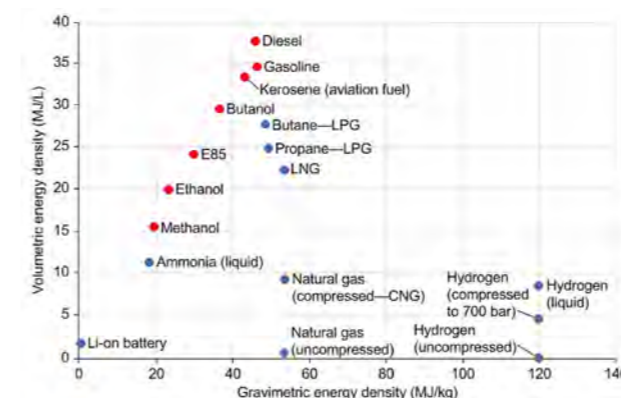


권석주
한국자동차연구원
대체연료동력기술부문 책임연구원

아래 [그림 2]은 단위 질량당 생산되는 에너지 대 단위 부피당 생산되는 에너지를 발열량 기준으로 나타내었는데 대기압 및 상온 조건에서 파란색 심볼은 기체 상태 연료다. 빨간색 심볼은 e-fuel 제조 공법으로 연료를 생산할 수 있고, 대기압 및 상온 조건에서 액체 상태를 안정적으로 유지하기 때문에 단위 부피당 에너지밀도가 높은 것을 알 수 있다.

여러 가지 연료로 변환할 수 있는 재생합성연료는 에너지밀도가 높으면서 탄소 재순환을 통하여 탄소 중립성을 갖기 때문에 Chemical battery로 불리며 수송 동력 에너지원의 중요한 축으로 자리매김할 것이다.

[그림 2] 단위 질량당 생산되는 에너지 대 단위 부피당 생산되는 에너지

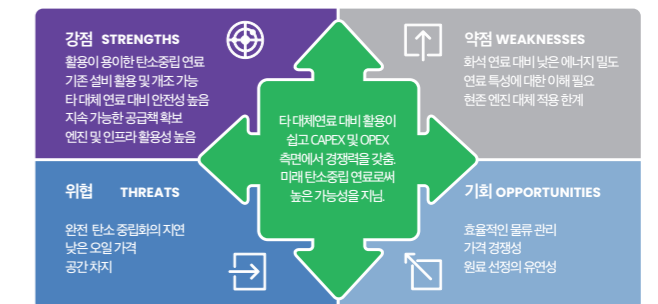


e-fuel의 배경 및 필요성

탄소중립 시나리오 대응을 위하여 대표적인 e-fuel 연료 설정은 단기적으로 단일 성분인 e-Methanol(메탄올)이 될 것이며 중장기적으로 다양한 첨가제가 포함된 혼합물인 e-Gasoline(휘발유)가 예상된다. e-Methanol은 재료 호환성, 공기 필요량, 발열량변화 등 엔진에 제어에 대한 수정이 어느 정도 필요하겠지만, 기존에 사용되는 내연기관 시스템 및 엔진을 그대로 활용할 수 있는 특징이 있다.

e-Methanol은 타 재생합성연료 대비 합성이 간단하고 이미 원료 공급망(화학 원료, 선박 연료)이 확보되어 있어서, 원료 선정의 유연성 및 비교적 높은 가격 경쟁성으로 인해 지속가능한 공급책 확

[그림 3] e-Methanol(메탄올) 연료의 SWOT 분석



출처 : Methanol Institute An Emerging Marine Fuel, 2021 발표 자료 번역

[그림4] 관계부처 합동 2050 탄소중립 시나리오 최종



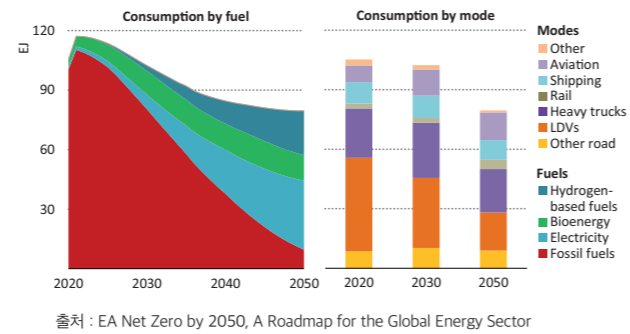
보가 용이하다. [그림 3] 연료 자체에 산소를 포함하고 있어서 배출 가스가 기존 휘발유에 비해 청정한 장점이 있지만, 메탄올 연료로 생성된 포름산 및 엔진 내부에서 응축된 물은 엔진의 금속 재질 산화를 가속한다는 문제가 있어 SI 엔진 내부 금속 재료의 변경이 필요하다.

정부에서 공개한 「2050 탄소중립 시나리오 안(2021.10)」은 2050년 차종별 비중을 전기·수소차 85% 이상, 15%의 잔류 내연기관은 e-fuel 등 탄소중립 연료 사용(안)을 제시하였다[그림 4]. 국가 단위의 탄소중립을 위해서는 CO₂를 흡수하여 e-fuel 연료로 재생산하는 전략이 적용될 것이고, 국제에너지기구(IEA; International Energy Agency)의 2050 NZE(Net-Zero Emission) 시나리오와 비교하였을 때, 정부의 e-fuel 비율은 절반 정도여서 사용 및 활용량이 더 증가할 가능성이 존재한다.

국내외 e-fuel 정책 동향

IEA의 2050 NZE 시나리오에서 탄소중립 시나리오상으로 2050년 기준 전 세계 각 수송 분야에서의 사용 연료 비율을 전기 45%, 수소 기반 e-fuel 28%, 바이오 에너지 16%, 석유 10%로 예상한다

[그림5] NZE 시나리오 수송분야연료 및 모드 별 최종 소비비율



[그림 5]. 기존 내연기관 차 전체의 전동화는 어려울 것이며, 2050년에는 전기 및 e-fuel, 바이오 에너지 기반 연료가 균형을 이룰 것이라 발표하였다.

독일은 20여 개 이상의 PtG(Power-to-Gas) 실증 플랜트를 설치 및 운영 중이며, 최근 규정 개정으로 재생합성연료(e-fuel) 항목 신설 및 인센티브 부여(2021. 3)하였다. 독일 정부는 합성연료 개발을 고수하는 중이며, 2026년까지 e-fuel 엔진 지원을 위해 19억 유로를 배정하겠다고 발표하였다.

일본은 탄소중립을 위한 그린 성장 전략(2020. 12)에 e-fuel을 상정하고 향후 10년간 기술 개발·실증의 집중적 실시 및 2040년까지 상용화 목표 제시하였다. 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO; New Energy and Industrial Technology Development)는 합성연료의 제조 수율, 이용 기술 향상과 관련된 탄소중립 관련 14개 기술을 향후 10년간 지원하고, CO₂와 수소로부터 역수성가스전이반응(RWGS, Reverse Water Gas Shift), FT(Fischer-Tropsch) 합성, 연계 등을 이용하여 고효율 대규모 액체연료 전환 기술을 개발 중이다(2021~2030).

중국은 2060년 탄소중립 달성을 위한 다양한 정책을 추진 중이며, 식량안보와 풍부한 석탄 보유에 기반한 석탄액화기술(CTL; Coal-to-Liquid) 중심의 자동차 연료 다양성 추진이 예상된다. 2060년 탄소중립 달성을 위해 CTL 메탄올의 적극적 연료 활용 지원하고 중국의 메탄올 사용은 수송 연료의 약 8% 수준이다. 2020년 중국산업정보기술부(MIT)는 메탄올 자동차 시장관리를 표명하였고, 산시성 메탄올 기술인 시범사업 추진과 '22년 메탄올 차량과 주유소 각각 2만 대, 200개소 이상 구축 추진하였다. 중국내 Anzhou Demo Project를 통하여 란저우에서 태양광 발전을 통한 수소와 메탄올(e-Methanol) 생산(2020.1~)을 시작하였다.

[국외 재생합성연료(e-fuel) 관련 정책]

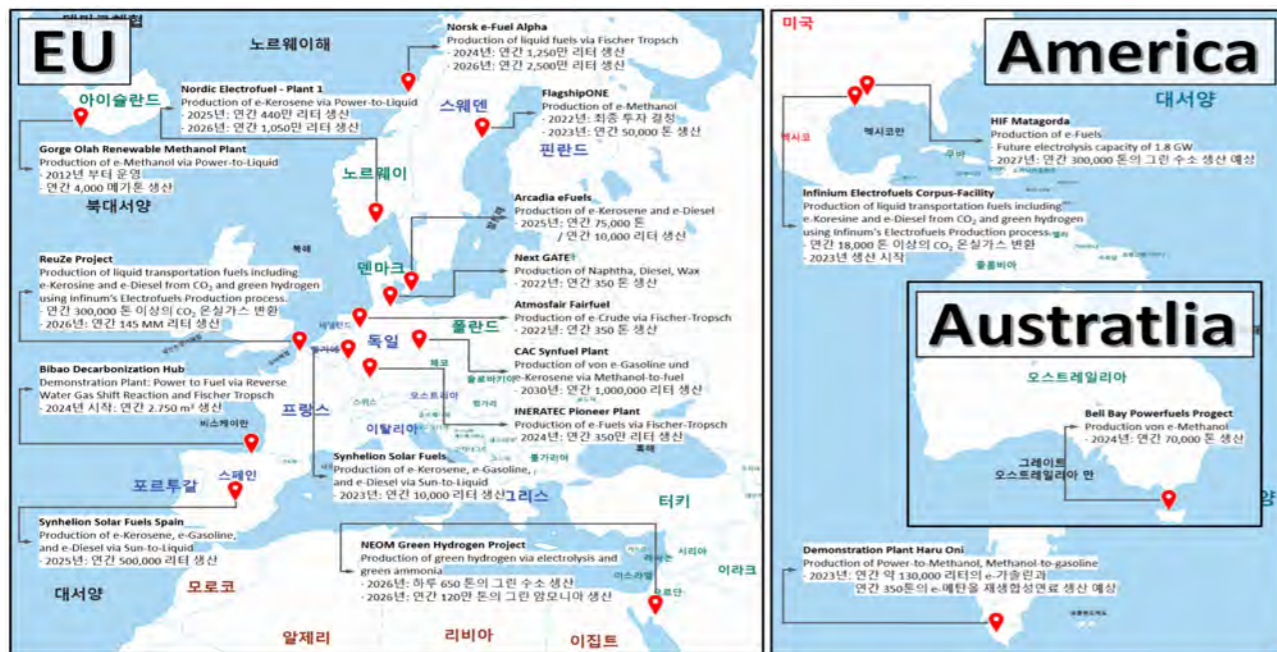
독일	<ul style="list-style-type: none"> (e-fuel 인센티브) 20여 개 이상의 PtG 실증 플랜트)를 설치 및 운영 중이며, 최근 RED2) 규정 개정으로 e-Fuel 항목 신설 및 인센티브3) 부여(2021.3) 1) 독일 Schwandorf와 Allendorf에 250과 1,100kW급 설비 실증완료 2) (Renewable Energy Directive) 제도는 수송 분야의 재생에너지 활용 촉진을 위해 제정되었으며, 온실가스 감축 할당량을 통해 시행 중 3) 2026년 도입→2030년 2%까지 단계적 상향, 온실가스 감축 할당량 계산할 때 2배 계수 적용 등 • 정부는 2026년까지 e-fuel 엔진 지원을 위해 19억 유로를 배정하겠다고 밝힘 																							
핀란드	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오 연료를 필수적으로 사용하는 법률을 제정*(2019), 2030년까지 non-ETS**에서 이산화탄소 배출량을 39%까지 저감할 계획 * 2030년까지 액체 바이오 연료의 에너지 점유율 30% 의무화 ** Non Emissions Trading System (ETS) : 배출권거래제에 해당하지 않는 가정, 차량, 중소기업 및 농업에서 발생하는 온실가스 배출 																							
EU	<ul style="list-style-type: none"> • 의무 사용 재생연료 범위에 e-fuel을 포함하도록 제도개선(2018, RED) * 재생에너지 범주에 e-fuel이 반영되었지만, 세부 조항은 아직 마련되지 않음 → 유럽연합 집행위원회는 합성연료의 Renewable Contents를 증명하기 위한 방법론을 마련하여 해당 지침 보완 예정(~2021.12) 																							
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소중립을 위한 그린성장전략(2020.12)에 e-fuel을 상정하고 향후 10년간 기술개발·실증의 집중적 실시 및 2040년까지 상용화 목표* 제시 - 2050년 e-fuel 공급가격을 휘발유 가격 이하로 실현하는 것을 목표로 제시 - CO₂ 등을 이용한 연료 제조 기술 개발에 2030년까지 114.5 billion JPY를 투자할 예정. - 경제산업성 주관으로 석유·자동차 업계, 교수 등 전문가로 구성된 연구회를 진행(2021. 4)하여 기술적 과제, 로드맵 등 논의 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2021년</th> <th>2022년</th> <th>2023년</th> <th>2024년</th> <th>2025년</th> <th>~2030년</th> <th>~2040년</th> <th>~2050년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">연료의 탄소 중립화</td> <td colspan="5">합성연료의 제조기술의 개발 • 기존 기술(액이동 반응 + FT 합성 공정)의 고효율화 • 제조 설비의 설계 개발</td> <td rowspan="2">대규모 제조의 실증</td> <td rowspan="2">도입 확대 비용 저감</td> <td rowspan="2">자립 상용</td> </tr> <tr> <td colspan="5">합성연료의 혁신적 제조기술의 개발 • CO₂ 전해(+수전해) + FT 합성 공정의 연구개발 • 공전해 + FT 합성 공정의 연구개발 • 직접합성(Direct - FT)공정의 연구개발</td> </tr> </tbody> </table>		2021년	2022년	2023년	2024년	2025년	~2030년	~2040년	~2050년	연료의 탄소 중립화	합성연료의 제조기술의 개발 • 기존 기술(액이동 반응 + FT 합성 공정)의 고효율화 • 제조 설비의 설계 개발					대규모 제조의 실증	도입 확대 비용 저감	자립 상용	합성연료의 혁신적 제조기술의 개발 • CO ₂ 전해(+수전해) + FT 합성 공정의 연구개발 • 공전해 + FT 합성 공정의 연구개발 • 직접합성(Direct - FT)공정의 연구개발				
	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년	~2030년	~2040년	~2050년																
연료의 탄소 중립화	합성연료의 제조기술의 개발 • 기존 기술(액이동 반응 + FT 합성 공정)의 고효율화 • 제조 설비의 설계 개발					대규모 제조의 실증	도입 확대 비용 저감	자립 상용																
	합성연료의 혁신적 제조기술의 개발 • CO ₂ 전해(+수전해) + FT 합성 공정의 연구개발 • 공전해 + FT 합성 공정의 연구개발 • 직접합성(Direct - FT)공정의 연구개발																							
중국 (대체 연료)	<ul style="list-style-type: none"> • 「에너지절약·신에너지차 기술 로드맵 2.0(2020)을 통해, 2035년 신에너지차 비중 50%, 하이브리드차 비중 50% 목표 제시 • 중국산업정보기술부(MIT)는 MIT에 의한 메탄올 자동차 시장관리를 표명(2020) * The Notice on Adjusting the Relevant Requirements for the Access of Methanol Automobile Product에서 기준을 만족하는 메탄올 차량은 MIT 제품 공지에 적용 가능성 제시 • 4개 지역*의 메탄올 자동차 사용 지침을 발표(2019)하였으며, 메탄올 자동차 개발, 산업 장려를 지속 추진 * Shanxi, Shaanxi, Guizhou, Gansu 지역에서 순수 메탄올을 사용하는 M100 차량 개발 및 택시와 같은 서비스용 차량을 메탄올 승용차로 전환 유도, 물류 분야에서 메탄올 차량의 비율을 확대 (출처 : MIT-Policy-Paper-Press-Release - page 2) • 중국 40개 도시가 수소 산업을 위한 다자간 발전계획* 수립(2018) * 대표적으로, 2025년까지 베이징에서 1만 대의 연료전지 자동차 보급 추진 																							

산업 및 활용 기술 동향

유럽의 e-fuel Alliance는 재생가능 에너지원에서 합성 액체 연료의 산업적 생산을 촉진하는 이익 단체이다. 기후 보호에 대한 기여로 e-fuel을 홍보하고 전 세계적으로 사용한다는 목표를 공유하고 있다. 광유, 자동차, 기계 및 플랜트, 항공, 해양, 화학 및 에너지 산업과 연관된 회원사가 152개 이상이며 대표적으로 ZF 그룹, 지멘스 에너지, 보쉬, ADAC, 포르쉐, 엑스모빌, 이베코 등이 존재한다. [그림 6]은 전세계 생산 플랜트 맵을 정리한 것이고 글로벌 회원사들은 가치 사슬을 따라 광범위하게 존재하며, e-fuel의 시장도입 및 확장을 위해 노력하고 있다.

유럽은 산업계 연합과 기술 선도를 통한 경제성 확보와 글로벌 e-fuel 연료/엔진 시장 선점을 추진하고 있다. FVV fuel 그룹은 LCA 기반 e-fuel 탄소중립 경제성 분석과 e-fuel alliance의 152개 업체 의 참가 활동 진행 중이다. VW 그룹의 「Climate fuel roadmap」에서는 2026년 e-fuel 포물러 1(포르쉐 및 아우디) 참가와 2035년 R100 연료 적용을 발표하였다. HIF(Highly Innovated Fuels) Global은 2022년 e-fuel 최초 양산과 물류의 장점을 살려서 2030년 하루 15만 배럴의 e-fuel생산 목표를 제시하였다. 아람코는 2030년 재생합성연료 판매 계획 발표에서 중동에서의 e-fuel 생산과 유럽 수입의 효용성 제시하였다. 2023년 4월 Vienna Symposium에서 아람코는 2050년에 e-fuel 연료생산 단가를 1.5유로 내외로 추정하였다.

[그림6] e-fuel 글로벌 계획 및 생산맵 자료정리

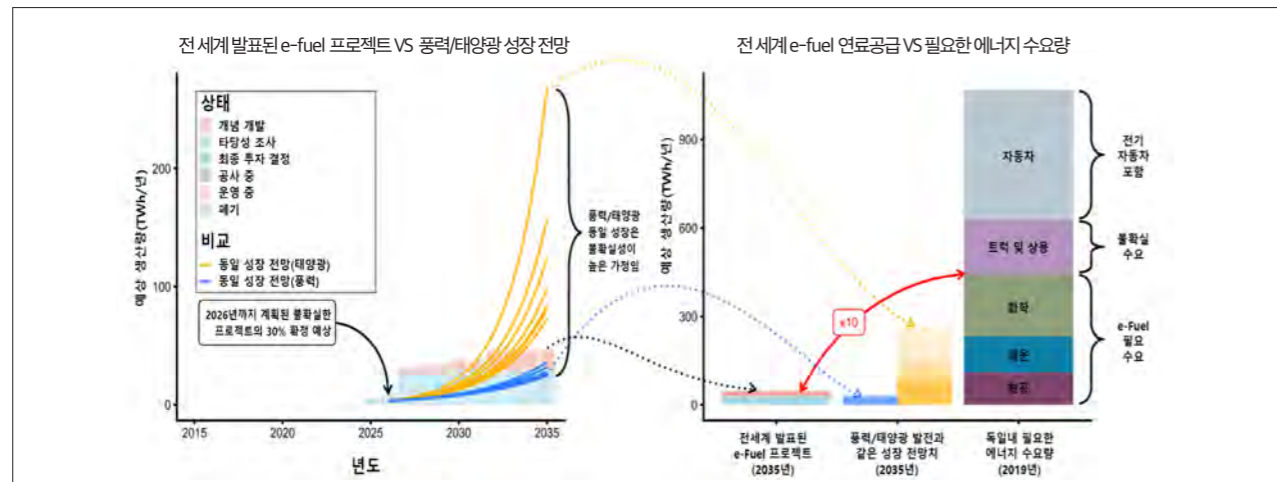


출처 : e-Fuel alliance

포츠담기후영향연구소(Potsdam Institute for Climate Impact Research)의 2023년 5월 새로운 보고서에 따르면 녹색 수소와 대기에서 포집된 CO₂로 합성 휘발유를 생산하는 비용이 현재 리터당 50유로(53.80유로)에서 1유로로 떨어질 수 있다고 전망하였다. 독일 정부가 자금을 지원하고 HIF Global 및 포르쉐가 공동소유한 칠레 남부의 선구적인 Haru Oni 시범 공장에서 생산되고 있는 e-fuel의 제조 비용은 리터당 약 50유로로 기존 화석 휘발유의 일반적인 도매가격 리터당 약 €0.50보다 100배 이상 비싸다고 밝혔다. 독일은 2030년까지 항공 연료의 2%를 합성연료로 사용하기로 했고,

유럽 위원회는 2035년까지 5%를 목표로 하고 있다. 수소 전환의 허브가 되겠다는 강한 야망을 품은 국가인 핀란드는 10년 내 모든 운송 수단에 3%의 e-Fuel을 사용하겠다고 발표하였다. 지난달 HIF Global은 미국 휴스턴 근처 Matagorda 지역에 두 번째 전기 연료 공장을 건설하기 위해 텍사스의 허가를 받았다. 자동차 400,000대에 해당하는 탄소를 제거할 수 있는 현재까지 가장 큰 e-fuel 시설 건설을 목표로 하며, 이는 오늘날 벨기에 자동차 소비의 약 6.5%에 해당한다.

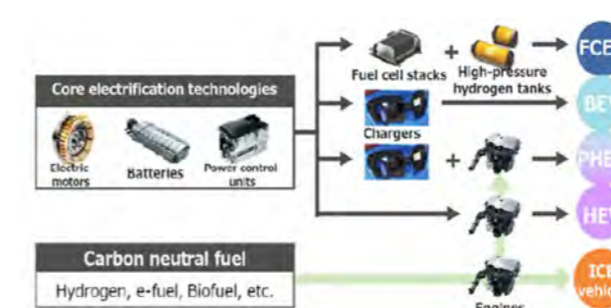
[그림7] 포츠담기후영향연구소(PIK)의 2035년 e-fuel 생산 및 발전 전망



[국외 재생합성연료(e-fuel) 프로젝트]

캐나다	<ul style="list-style-type: none"> Carbon engineering 사는 2021년부터 DAC (Direct Air Capture) 과정을 통해 2021년부터 년 50만톤의 CO₂를 포집할 수 있는 시설을 건설 중임. * 빌 게이츠, Chevron, BHP, Occidental 등의 투자를 받음.
독일	<ul style="list-style-type: none"> (코페르니쿠스 프로젝트) 독일 연방교육연구부(BMBF)는 화석연료 대체를 위해 e-fuel 개발 등이 포함된 코페르니쿠스 프로젝트* 발표(2015.9월) * 2018년까지 1억 2천만 유로, 2025년까지 2억 8천만 유로 지원 (경제에너지부 프로젝트) 1억 3천만 유로를 투자하여 “Energiewende im Verkehr (교통 에너지 전환)*” 프로그램을 시행, e-fuel을 중심으로 화석연료를 재생 가능한 에너지로 대체할 계획 * e-Fuel 개발 프로젝트 및 발전소 자금 지원을 21년 하반기부터 시행할 예정 (Haru Oni Project) Volkswagen group과 Siemens energy는 스위스 Climateworks 사의 기술을 사용하여 칠레 남부에 e-fuel 실증 단지 구축 중. 2026년까지 5억 리터의 e-Fuel 생산을 목표로 함. Volkswagen group 산하의 Audi*는 아이슬란드에 DAC(Direct Air Capture)를 활용하여 CO₂ 지중 저장시설을 만드는 중. * e-Gasoline 및 e-Diesel을 적용한 엔진시험에 2018년부터 착수함.
핀란드	<ul style="list-style-type: none"> (e-fuel Project*, 핀란드) 수소 연료 생산 시스템 통합 개발(2021~22) * 수소 연료 생산 기술 : ① 이산화탄소 격리 ② Fisher-Tropsch (피셔-트롭슈) 연료합성 ③ 고온 전기분해(출처 : AMF Annual Report 2020 - page 52)
덴마크	<ul style="list-style-type: none"> (Energy Island*, 덴마크) 북해와 발트해에 각각 에너지 섬을 건설, 초과한 녹색 전기 에너지를 수소 및 기후 중립 연료로 전환할 계획을 수립함 (2020~) * ① 북해 에너지 섬 용량 : 3GW (2030년 기준) ~ 10GW ② 발트해 에너지 섬 용량 : 2GW (출처 : Denmark-E-fuels - AMF July 2021)
스페인	<ul style="list-style-type: none"> Respol 정유사는 Petronor Refinery*, Bilbao에 2.5 MW의 Green Hydrogen Electrolyzer를 2022년에 설치 완료함. 2025년까지 규모를 557MW로, 2030년까지 1.9 GW로 용량을 확대할 예정임. * 모든 e-Fuel은 100% renewable energy만을 사용하여 생산될 예정이며, 비행기, 자동차 등의 연료로 사용될 예정.
일본	<ul style="list-style-type: none"> 도요타, 닛산, 혼다는 탄소중립 엔진을 위한 e-fuel 적용 연구를 2020년부터 시작함. 또한, 항공기용 e-fuel인 SAF (Sustainable Aviation Fuel) 개발도 함께 진행 중임 NEDO에서는 2조엔 자금 조성 및 ‘Green Innovation Fund Project’를 추진하여, 탄소중립 관련 14개 기술을 향후 10년간 지원 예정
중국	<ul style="list-style-type: none"> (Lanzhou demo Project*, 중국) 랴저우에서 태양광 발전을 통한 수소와 메탄을 생산(2020.1~) * 태양광 발전소 최대 용량 : ① 연간 1500톤의 메탄을 생산 ② 연간 2000톤의 이산화탄소 포획 (출처 : China e-fuels - page 4) <div data-bbox="2362 1128 2797 1370"> <p>Synthetic e-fuels: the Liquid Sunshine Project</p> <ul style="list-style-type: none"> Leading scientist: Academician Dr. Can Li (李灿), Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences. Lanzhou demo project: H₂ and methanol production integrated with a 10MW solar farm <p>Demonstration stage, Jan. 2021:</p> <ul style="list-style-type: none"> Methanol organic content >99.5wt% 2 of 1000m³/hour production electrolyzers 4 0-4.2 kWh/m³ during H₂ production Catalytic performance deteriorated 2% after 3500 h operation <p>It operates at full capacity:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1500 ton methanol/year To capture CO₂ 2000 ton/year <p>Lanzhou Liquid Sunshine demonstration device successfully run. RP4 AS, 3/20</p> </div>

[그림6] 일본 토요타의 탄소중립 기술



[그림6] 토요타 및 마쯔다의 e-fuel 내구 레이스 및 주행시험





일본은 산업화 글로벌 협력을 앞세워 연료 보급 및 소모, 내구성 등 하이브리드 기술과 e-fuel 기술의 글로벌 수출 확대를 도모하고 있다. 토요타는 중국에 대한 HEV 특허의 단계적 무료 공개 및 중국 현지 제조사의 HEV 모델 개발하며, 북미에서는 엑스모빌과 함께 전 주기 CO₂ 배출 75% 저감 새로운 연료 개발 중이다(2023. 4). 일본내 자동차 내연기관 엔진 기술 조합(AICE)은 「Green Innovation Fund Project」 중 고효율 엔진 기술을 주도하고 있다. 유럽에서는 마쯔다가 e-fuel Alliance에 참여하였고, MX-5 스포츠카의 영국내 1,000마일 주행 내구를 수행중에 있다(2022). 일본 에너지사인 Idemitsu Kosan는 유럽의 HIF와 재활용 CO₂ 공급 등 전략적 협력 협정 체결 하였다(2023. 4).

결론 및 향후 계획

대한민국 정부의 「2050 탄소중립 시나리오」 제시 이후 e-fuel 사용과 관련된 정책 및 수요가 지속해서 증가하고 있다. e-fuel 기반 엔진 및 자동차 기술을 확보 및 확산함으로써 탄소중립을 실현하는 지속 가능한 친환경 동력원인 e-fuel 연료 보급이 예상된다. 미래 에너지 원인 전기 배터리 및 연료전지는 원자재의 높은 희토류 의존성으로 인해 기존 내연기관 차량의 운용 비용이 일정 이상 존재할 것으로 예상된다. 신재생무탄소에너지(풍력, 태양광, 원자력 등)로부터 합성되는 e-fuel을 내연기관 차량에 적용하면 탄소중립을 통해 기후변화에 대응할 수 있는 지속 가능한 친환경 동력원으로써 활용될 수 있다. 국내 신재생 무탄소에너지를 기반으로 한 e-fuel 동력기관에 관한 연구 환경이 미비함에 따라, 본 사업을 통해 향후 e-fuel 엔진 기술 개발 및 보급 활성화에 이바지할 수 있을 것이다.

e-fuel 생산 및 활용 부문 기술 개발을 위한 미래 수송 동력 사업 부문 일자리 보전 및 창출이 가능하다. 현재는 신재생 무탄소에너지 기반 연료합성 시설구축이 미비함에 따라, 국내 관련 기술 개발을 위한 일자리 창출을 기대할 수 있다. e-Methanol 등 기존 연료 대비 상이한 물성을 가진 연료 활용에 대한 필요성이 증대됨에 따라 e-fuel 내연기관 부품 개발과 관련된 고용 증대를 기대할 수 있다. 기존 내연기관 기술을 바탕으로 일부 부품 및 기술 공유를 통해 수송부문 기존 인력의 안정적인 고용을 유지함과 동시에 관련 신규 인력 채용을 장려할 수 있다.

탄소중립을 실천하는 지속 가능한 친환경 동력원인 e-fuel을 보급하여 CO₂ 포집 및 친환경에너지 활용을 통해 탄소중립 시나리오 달성에 이바지할 수 있다. LCA(Life Cycle Assessment) 분석 및 연료생산 경로 최적화에 따라 전 주기적 탄소 배출량을 ZERO가 될 수 있는 기술 확보가 가능하다. e-Methanol 및 e-Gasoline에 적용할 수 있는 후처리 장치 기술 개발을 통해 대기환경 역시 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 국내 내연기관 산업의 지속적인 규모 감축에 따라 관련 고용 시장의 불안정성이 급격하게 증대되고 있다. e-fuel 기반 내연기관 기술 확산이 이루어지면 기존 내연기관 인력의 활용 및 신규 인력 증진으로 저탄소 경제 활성화에 기여할 수 있을 것이다.

2027년 자율주행 Lv.4+기술의 완성을 위해 달립니다!



새로운 미래
FUTURE



꿈꿔온 질주
DREAM



안전한 자유
SAFETY



산업통상자원부



과학기술정보통신부



국토교통부



경찰청



조원준

(주)바이오프렌즈 대표



가장 낮은 탄소 함유 연료 국내 DME 산업의 리더, 바이오프렌즈



BIO FRIENDS

국제유가에 대한 우리 국민의 관심은 남다르다. 그도 그럴 것이 우리 경제와 사회에 미치는 영향이 매우 크기 때문인데 비단 우리나라만이 아니라 산유국조차 국제유가에서 결코 자유롭지 못하다. 그러나 2050 탄소중립을 선언한 우리에게 석유 경제는 더 이상 지속가능하지 않다. 이제 우리 산업은 눈앞에 경제적 논리를 넘어 탄소중립을 위한 새로운 대체연료를 준비해야 한다. 최근 선진국을 중심으로 이퓨얼(e-fuel)에 대한 관심이 높아지고 있음도 바로 같은 이유다.

모빌리티 인사이트에서는 국내 DME 산업의 리더인 바이오프렌즈를 만났다. 아직은 생소하고 초기인 국내 친환경 에너지 시장에서 기술개발과 시장개척이라는 어려운 여건 속에 미래 에너지 산업의 가능성을 비전으로 성장하고 있는 바이오프렌즈의 그린바이오에너지순환이라는 비전을 담아본다.

관점을 바꾸면 미래가 보인다! (주)바이오프렌즈

탄소중립의 중요 전략 중 하나가 바로 저배출 대체연료 개발이다. 그럼에도 우리나라의 친환경연료 개발은 부진한 상태다. 좀 더 냉혹하게 이야기 한다면 학계와 연구소를 중심으로 필요성과 가능성만 언급되는 수준이라고 말할 수 있다. 이런 상황에서 친환경 에너지 전문기업인 바이오프렌즈는 우리에게 특별하다. 바이오프렌즈는 2016년 설립한 신생기업임에도 불구하고 국내 디메틸에테르(DME, DIMethyl Ether, 이하 DME) 산업을 대표하는 리더 기업으로 성장했다. 조원준 대표는 24년간 한국가스공사에서 근무하였고 재직 당시 수석연구원을 거쳐 연구개발센터장으로 천연가스에서 DME 직접 추출기술 개발에 성공했다. 순도 99.5%의 고품질 DME였다. 이뿐 아니라 DME 추출에 필요한 촉매 물질 개발과 촉매를 담는 용기(반응기) 국산화도 성공했다. 그런 조원준 대표는 왜 창업을 결심했을까? “한국가스공사에서 2000년부터 약 14년간 DME 분야를 연구했는데 당시 DME는 미세먼지가 발생하지 않고 세탄가(cetane number)가 높았기 때문에 디젤을 대체할 수 있는 새로운 친환경 연료로 주목받았습니다. 새로운 연료 개발을 위해 간접추출방식의 단점을 해소할 직접추출 기술을 개발하고 한국자동차연구원과 함께 DME

력, DME 충전소를 만들었으며 한국교통대학교와 협업하여 DME 보급사업도 계획했습니다.” 그러나 한국가스공사의 DME 연료개발 사업은 2013년 이후 추진동력을 잃고 만다. “국제유가가 직접적인 이유였습니다. 2013년까지만 해도 국제유가는 100달러를 유지하면서 강세였지만 미국, 중국 등에서 셰일가스의 등장으로 국제유가는 폭락하게 됩니다. 원유 가격이 하락하자 산업계는 새로운 연료에 대한 필요성을 느끼지 못하게 된 것입니다.” 하지만 조원준 대표는 대체연료로서 DME의 가치를 다르게 봤다. 조만간 친환경 에너지에 대한 중요성이 부각할 것으로 생각했다. “2014년 한국가스공사를 퇴직하고 2016년 창업하게 되었습니다. 제가 해왔던 연구이기 때문이 아니라 기후변화와 온실가스 등 환경 위기를 해결하기 위해서는 경제논리보다 DME와 같은 친환경 대체연료가 시장에서 가치를 인정받는 시기가 반드시 올 것이라고 확신했기 때문입니다.”

DME가 뭐죠? 아직 낯설기만 한 시장

국내 DME 산업 역사는 짧고 그만큼 시장에서 DME 인지도 역시 낮다. 바이오프렌즈는 글로벌 시장에서도 손색없는 DME 제조기술을 갖고 있지만 기술만으로는 부족했다. “창업 후 기술보다 시장이 문제였습니다. 우리 산업계에서 DME는 아직

생소한 물질로 본래 연료목적으로 개발했지만 당장 DME를 생산해도 연료시장 진출은 가능성이 낮았기 때문에 초기에는 바로 진입할 수 있는 케미칼 시장에 집중했습니다. 케미칼 제품으로도 DME의 장점은 충분하는데 온난화 유발지수를 나타내는 지구온난화지수(GWP)를 살펴보면 가스별 이산화탄소를 1로 보았을 때, 메탄은 28, 프레온 가스는 1,300~23,900으로 매우 높고 그나마 낮은 인체용 LPG 역시 3~4 정도 수준입니다. 반면 DME의 지구온난화지수는 0.3으로 기존 산업용으로 사용되던 인체용 LPG와 비교해도 1/10수준으로 적기 때문에 온난화에 미치는 영향을 크게 줄일 수 있어서 기존 석유화학 제품의 대체품으로 DME를 홍보하며 에어로졸, 친환경 냉매 등 산업 분야에 주로 공급하고 있습니다.”

현재 국내 DME시장 규모는 연간 2~300억 정도 수준으로 바이오프랜즈의 시장 점유율은 60%수준이다. 앞으로 바이오프랜즈는 케미칼 시장 점유율을 80%까지 끌어올리는 것이 목표다. “현재 국내 DME 산업의 수요는 연간 2만 톤 정도 수준으로 전체 시장을 모두 점유한다고 해도 연료 시장에 도전하기에는 규모가 적어 가격 경쟁력 확보가 어렵습니다.” DME가 연료시장에서 도전하려면 최소 10만 톤 이상, 수십만 톤 생산을 통해 가격경쟁력을 갖춰야만 한다. 바이오프랜즈가 기존 케미칼 시장에서 점유율 높여려는 이유는 DME시장 규모가 매우 중요하기 때문이다.

자동차산업 LPG와 DME 혼합사용 중국에서는 이미 상용화, 유럽도 준비중

코로나19 이후 유럽의 LPG수요는 꾸준한 성장세를 이어가고 있다. LPG가 국제유가로부터 공급과 수요에서 안정적이라는 장점과 환경적으로도 다른 화석연료에 비해 친환경 에너지원으로 인정받고 있기 때문이다. 특히 중국은 일찍부터 DME와 LPG의 혼합사용을 적극적으로 추진하고 있다. “DME는 미세먼지 저감효과가 뛰어납니다. 자동차연료로 사용되는 LPG와 혼합사용하면 기존 순수 LPG자동차보다 탄소배출량을 최소 35%부터 많게는 60%까지 감축할 수 있습니다.

현재 혼합사용 시장은 중국이 1위로 2022년 기준 연간 약 290만톤 정도의 DME를 연료용으로 사용하고 있고 최근 유럽에서도 DME와 LPG 혼합사용에 대한 인센티브 정책을 펼치는 등 적극적으로 혼합사용을 추진하고 있습니다. 미국 역시 서부의 서버번 프로판과 DME 전문기업인 오베론은 혼합연료를 만들어 캘리포니아에 공급하고 있습니다. 해외에서는 DME와 LPG혼합연료 시장을 초기이지만 앞으로 적극적으로 검토하고 추진할 필요가 있습니다.” 국내 LPG 자동차에는 감소추세로 2010년 245만대까지 성장했다가 2022년



에는 200만대 수준으로 줄어들었다. 앞으로 LPG와 DME혼합사용을 통해 LPG자동차의 소비 회복에도 긍정적인 역할을 할 수 있을 것으로 본다. “LPG자동차에 DME를 10%정도 혼합사용해도 연비에는 전혀 영향을 미치지 않습니다. 동시에 탄소배출은 줄어 환경적으로도 더 우수한 연료가 됩니다. 현재 국내 LPG소비량은 연간 약 1,000만톤이며 이중 자동차 연료로 200만톤 정도가 사용됩니다. DME와 LPG 혼합사용 비율을 10% 수준으로 추정하면 연간 20만톤 정도의 DME시장이 새롭게 만들어지는데 이는 국내 DME산업이 규모의 경제를 달성함으로써 글로벌경쟁력을 확보하는 데 큰 역할을 기대할 수 있습니다.” 2021년 말 기준 유럽의 LPG자동차비중은 세계 LPG자동차의 72%를 차지하고 할만큼 LPG자동차는 친환경차로 인정받고 있으며 동시에 다양한 지원 정책도 누리고 있다.

화석연료 기반 DME 의미없어 eDME 전환이 미래 경쟁력

DME의 원료는 메탄올이다. 창업 전 조원준 대표는 엔지니어로서 국내 최초 천연가스 DME 직접추출기술을 개발해 으뜸기술상을 수상했다. 그럼에도 조원준 대표는 앞으로 DME는 반드시 탄소포집을 통해 제조해야만 시장 경쟁력을 확보할 수 있다고 말한다. “저희 바이오프랜즈의 비전은 그린바이오에너지순환구조의 완성으로 탄소포집 후 저허만의 전환기술로 만들어지는 eDME를 통해 탄소절감이라는 새로운 가치를 만들어 낼 수 있습니다.” 순환구조의 첫 단추는 탄소포집으로 탄소배출량이 높은 시멘트나 석유화학 등 산업지역에서 이산화탄소를 포집함으로써 탄소절감효과와 함께 e메탄올의 연료인 탄소를 공급하게 된다. 이후 바이오프랜즈의 전환기술을 통해 eDME가 만들어진다. “지난 2021년부터 「충북도 청정원료 생산기지 기반구축 실증사업」을 통해 충북 단양의 시멘트 산업단지에서 이산



화탄소를 포집해 메탄올과 DME 생산할 수 있는 공장을 준공하고 있으며 2025년부터는 연간 약 7천 톤의 메탄올을 생산할 것으로 기대하고 있습니다. 또한, 2026년엔 충청, 강원권 이산화탄소를 포집하여 CCU기술을 이용해 e메탄올 10만 톤 이상, eDME 4.5만 톤을 생산하는 것을 목표로 하고 있습니다.”

DME 시장 잠재력 커 다각적으로 키울 것

DME은 본래 새로운 대체연료로 개발했다. 그만큼 연료로서 수송시장과 난방시장 그리고 발전시장에서 시장 진출을 기대해 볼 수 있다. 시장 확대를 힘쓰고 있는 바이오프랜즈가 각 분야별 사업을 어떻게 준비중인지 살펴보았다.

탄소중립 사각지대, 소형선박 수송연료로 DME시장 개척 중

조원준 대표는 자동차 연료로서 DME활용은 제한적으로 봤다. 자동차시장에서 새로운 에너지원으로 사용하기 위해서 인프라 투자비용이 지나치게 커 비효율적이라는 판단 때문이다. 하지만 자동차 외에 수송분야 특히 선박시장으로 확대해보면 상황은 다르다. “소형선박에 친환경 연료로 DME는 충분한 시장성을 갖고 있습니다. 탄소중립을 위해 전통화가 대세지만 선박에서는 저배출 연료를 사용하는 내연기관이 거의 유일한 방안으로 대형선박의 경우 국제해사기구(IMO)의 환경규제를 통해 강력한 탄소저감조치들이 실행중으로 메탄올이나 암모니아 선박을 개발하고 있지만 소형선박의 상황은 완전히 다릅니다. 해양수산부의 자료에 따르면 2021년 기준 해양수산분야 온실가스 배출량은 406만1,000톤이고 이중 소형선박의 배출량은 304만톤으로 전체 70%를 차지하고 있지만 2017년부터 지난 5년간 소형선박의 배출가스 개선실적은 단 1척도 없습니다. 정책지원이

대형선박에만 치중하고 있어 실제 온실가스 주범인 소형선박의 개선이 시급한 상황입니다.” 바이오프랜즈는 소형선박의 개선을 위해 2023년부터 「소형디젤선박용 저탄소고효율 DME 연료시스템 개발 및 실증사업」을 통해 목표해양대학교와 함께 2027년까지 eDME 선박을 개발할 계획이다. “우리나라에는 약 6만 5천대의 연근해 소형선박이 있으며 그중 41%인 2만 7천대가 전남 목포와 신안지역에 밀집해 있어 해당 지자체단체의 관심이 높습니다. 먼저 eDME선박을 개발하고 해안지역에 충전소를 설치하면 국내 소형선박들의 온실가스 배출 절감과 함께 DME를 사용하는 새로운 수송분야 연료 시장을 만들어 낼 수 있습니다.”

산업용 연료로서 경쟁력 충분! 사례없이 시장개척 난항

2021년 기준 국내 산업용 보일러는 약 4~5만대 수준이고 석탄, bunker C유, 부생연료유, 경유, LPG, 천연가스 등 다양한 연료를 사용하는 것으로 조사됐다. 분야별 온실가스 배출량에서 공공전기 및 열생산분야는 전체 배출량의 32.7%를 차지하는데 그만큼 산업용 보일러 시장에서도 온실가스 절감이 절실하고 동시에 DME의 새로운 시장으로 유력한 분야다. “산업용 보일러는 평균 10년 정도의 교체 주기로 갖고 있어 연간 약 4,000~5,000대의 교체 수요가 있습니다. 대표적인 친환경 연료인 LNG와 비교했을 때 LPG보일러는 가격경쟁력이 우수해 최근 LPG보일러 교체 수요가 많은데 산업용 LPG보일러 시장에 저희 DME와 LPG혼합사용으로 새로운 시장을 만들 수 있습니다. 앞서 설명드린대로 성능에 문제없이 탄소배출량을 35% 이상 감축할 수 있지만 도입사례가 없어 아직 지방자치단체와 관련 정부기관을 설득하고 있습니다. 이미 해외에 혼합사용의 사례가 있음에도 도입사례가 없어 사업화가 어려운 점이 아쉽고 적극적인 정책검토가 필요하다고 생각합니다.”



미래 농업 스마트팜과 만난 DME 분산발전으로 친환경과 경제성 기대

Industry 4.0의 대표적인 분야 중 하나가 농업 4.0으로 유럽을 중심으로 스마트팜의 규모가 빠르게 성장하고 있는데 네덜란드의 푸드 벨리나 유럽의 온실로 불리는 베로헝(Venlo) 온실 역시 미래 농업을 견인하고 있다. 우리나라도 농업디지털화를 위해 시설·설비분야, 통합관리시스템, 관수공급 설비 등이 도입되고 있는데 앞으로 시설농업의 경쟁력은 스마트화와 함께 친환경성 확보가 중요하다. “농촌은 면세유와 면세전기 등 정부 혜택을 지원받고 있습니다.”

국가 기간산업인 농업의 중요성에 비춰볼 때 꼭 필요한 정책이지만 탄소중립 관점에서 본다면 화석연료에 대한 지원을 지속하기 어렵습니다. 저희는 국내 농업을 새로운 모델 CO₂ 순환 농촌마을 건립이라는 목표를 세우고 분산발전 시스템과 CO₂ 포집을 통한 새로운 순환 농업을 개발하고 있습니다.”

현재 시설농가의 보일러는 다양하지만 친환경제품으로 주목받고 있는 제품은 전기보일러, 공기열보일러, 지열보일러 세 가지다. 우선 전기보일러의 경우 높은 연료비 문제, 공기열의 경우 겨울철 영하 10도 이하에서 성능의 한계, 지열의 경우 고가의 설치비용이 한계로 꼽힌다. 바이오프랜즈는 새로운 대안으로 DME분산발전시스템을 개발, 가나안농군학교에 설치해 운영하고 있다. “저희 DME분산발전시스템은 DME를 연료로 이용해서 40kw 규모 분산 발전기 2기를 통해 독립발전으로 스마트팜이나 식물공장에 필요한 냉난방을 공급합니다. 처음 분산발전시스템 연료로 수소연료전지를 구상했지만 수소의 가격경쟁력을 기대하기 어려워 자체적으로 DME 연료전지를 개발했습니다. 저희가 개발한 DME분산발전시스템은 500평 정도의 재배시설을 기준으로 2~3000만원대로 설치가 가능해 성능면에서 우수성과 경제성을 갖췄다고 생각합니다.”

탄소활용의 키는 수소 청록수소는 현재형 에너지

바이오프랜즈의 또 다른 주력산업은 바로 수소생산플랜트사업으로 포트폴리오를 만들어가고 있다. 지난 2020년 한국가스공사의 창원 거점형 수소생산기지와 광주거점형 수소생산기지를 수주해 2023년 완공을 목표로 진행하고 있다.

“저희는 DME만큼 수소산업에 대해서도 진심입니다.” 수소사업에 대한 조원준 대표의 애정이 느껴진다. “탄소중립을 위해 CO₂ 포집은 꼭 필요하지만 탄소활용의 키는 결국 수소입니다. 현재 CO₂ 포집비용이 톤당 600~1,000달러 수준으로 매립을 전제로 한 탄소포집 활동은 경제성이 없어 보입니다. 결국 포집한 CO₂는 수소와 결합해 e-fuel로 재사용하는 에너지 순환구조를 만들 때 CCUS역시 경쟁력을 갖춘 산업이 될 수 있습니다. 문제는 그린수소입니다. 개인적으로 경제성을 갖춘 가격과 환경성을 갖춘 수소는 블루수소라고 생각하며 저희는 블루수소 중 하나인 청록수소로 수소생산사업을 만들어갈 계획입니다.” 바이오프랜즈는 수소생산과 관련된 다양한 기술을 보유하고 있는데 수증기개질(SMR)이나 자열 개질(ATR) 기술도 갖고 있지만 조원준 대표는 DC 플라즈마 기술로 생산하는 청록수소에 집중하고 있다. “청록수소는 생산과정에서 CO₂ 배출량이 없는 100%환경친화적인 DC공법으로 순수한 수소와 전기 전도성 카본 블랙을 생산하는 전환기술입니다. 그린수소가 언제인지 모를 미래의 에너지원이라면 블루수소는 현재의 에너지원이라고 말씀드리고 싶습니다.”

한국DME산업협회국제협력채널로 역할 충실할 것

조원준 대표는 2022년 3월부터 한국DME협회의 회장을 맡고 있다. 한국DME협회의 활동과 목표에 대해 들어봤다. “저희 한국DME협회는 2003년 창립했으며 2022년 제가 11대 회장으로 취임했습니다. 현재 협회에는 11개 회원사가 참여하고 있으며 제조설비분과, 발전설비분과, 수송설비분과, 수요개발분과 등 4개 분과를 중심으로

활동하고 있습니다. 협회의 목표는 첫째, 협회 활동을 통해 다양한 분야의 DME산업체간의 교류와 국내외 전문가와 기업인들의 소통의 장을 만들고자 하며 둘째, DME산업에 대한 지방자치단체와 중앙정부의 관심을 유도하는데 적극적인 역할을 할 수 있도록 노력하고 있습니다.

마지막으로 국내DME산업이 글로벌 시장으로 성장하기 위한 전초기지로서 역할에 중점을 두고 있습니다. 이를 위해 2004년 제1회 아시아DME포럼을 시작했고 2022년 제11회 아시아태평양DME포럼을 개최까지 이어지고 있습니다. 특히 작년 포럼은 코로나19로 인해 3년만에 진행되었는데 DME산업에 대해 인도네시아, 일본, 태국, 필리핀 등 동남아시아 국가들의 높은 관심을 확인할 수 있었습니다. 이들 국가들이 전동화에 필요한 인프라 구축이나 자연조건이 열악한 상황으로 DME시장이 앞으로 나아가야 할 방향성을 시사한다고 말할 수 있습니다. 앞으로 포럼을 통해 협회가 우리 DME산업의 국제협력 채널로 중심점 역할을 할 수 있도록 강화해나가고자 합니다.”

DME와 청록수소로 글로벌 그린바이오에너지기업으로 성장

DME산업은 국내는 물론 해외시장 역시 시장진입기 수준이다. 이는 우리 DME산업이 글로벌 시장에서 선도국가로 성장할 수 있는 기회인 셈이다. 특히 세계적인 제조강국인 중국이 주변에 있다는 점을 고려한다면 성장의 속도를 높여 규모의 경제를 달성하는 것이 중요하다. “우선 DME사업과 수소산업으로 나누어서 사업 전략을 말씀드리겠습니다.

DME 사업전략이 핵심은 시장 확대와 글로벌화를 통한 규모의 경제 달성입니다. 한정적인 국내 시장을 벗어나 2027년까지는 글로벌 생산라인으로 갖추고 글로벌 시장으로 판매처를 확대해 획기적인 생산 규모 확장을 목표로 하고 있습니다. 현재 국내 DME시장을 연료 시장까지 늘려 연간 10만 톤 규모를 키워도 에너지 사업으로서

는 작은 규모로 지속적인 경쟁력 확보는 어렵습니다. 한국가스공사의 천연가스 규모가 연간 4천만 톤이고, SK에너지의 LPG규모는 연간 400만 톤 이상 수준으로 저희 역시 최소 100만톤에 근접하는 규모로 성장해야만 글로벌 시장에서 연료로서 DME의 경쟁력을 갖출 수 있다고 생각합니다. 이를 위해 단기적으로는 인도네시아에 DME 공장 건립을 통해 글로벌 제조 기반을 확보하고 유럽과 미국 등 해외 시장 진출을 목표로 하고 있습니다.

둘째, 수소사업은 청록수소 생산플랜트 사업의 리더가 되고자 합니다. 일부 국가들의 탄소중립 목표 시기가 2030년이기에 2028년부터 모든 에너지원에 대한 전방위적인 탄소중립 압박이 강화될 것으로 봅니다. 이런 환경 변화로 e-fuel 역시 예상보다 빠른 2030년부터는 시장이 형성될 것으로 예상하는데 핵심은 그린수소에서 블루수소로 전환입니다. 가격경쟁력을 확보는 어려운 그린수소보다는 청록수소를 포함한 블루수소에 기회가 올 것으로 예상하고 있고 2030년부터 2040년까지 10년간 규모의 성장을 통해 2050년까지 탄소중립에 대한 새로운 비전을 통해 탄소중립에 기여하는 진정한 그린 바이오에너지 기업으로 성장하고자 합니다.”

지난해 바이오프랜즈의 매출은 147억 원을 기록했다. 2016년 창업 후 10년이 되지 않아 시장을 개척하며 만들어 온 결과다. 하지만 본격적인 성장은 이제부터다. 탄소중립을 향한 시간이 다가올수록 시장은 바이오프랜즈의 비전대로 움직일 수 있을 것이다. 마지막으로 제 2공장 준공과 해외시장 진출 등 바쁜 일정에도 인터뷰에 응해준 조원준 대표께 감사 말씀드린다.



R0 Co., Ltd.

친환경 대체연료 솔루션 로턴

WWW.ROTURN.COM

박주창
주식회사 로 대표

국내 유일, LPG바이퓨얼(Bi-fuel)로
친환경 저배출연료시장 열어가는

로턴

탄소중립의 데드라인이 다가오고 있다. 그동안 자동차산업 후발주자에서 글로벌 선도국가로 성장한 우리 자동차산업은 탄소중립이라는 새로운 패러다임을 맞아 친환경 자동차산업을 이끌 새로운 경쟁력을 만들어내야 한다. 그간 우리 정부와 산업계는 미래 모빌리티 전동화 이슈에 대응하기 위해 투자와 노력을 아끼지 않았고 그에 따른 성과 역시 속속 나타나고 있다. 그러나 전동화를 통한 자동차산업의 탄소중립 달성 전략에는 넘어야 할 장벽이 많다. 인프라 보급과 친환경 전기에너지, 자원이슈 등이 그것으로 최근 유럽, 특히 독일과 일본에서 저배출연료를 통한 탄소중립 전략을 추진하고 있는 이유도 같은 맥락이다.

탄소중립의 전략이 다각화되고 있는 시점이다. 이런 상황에서 국내 1,900개의 총전인프라를 갖춘 LPG가 새롭게 주목받고 있다. 특히 탈석유 저배출 대체연료를 생각한다면 오늘 만나볼 바이퓨얼(Bi-fuel)은 자동차산업 전환기에 탄소중립의 새로운 전략으로 재조명할 가치는 충분하다.

국내 유일 LPG 바이퓨얼(Bi-fuel)의 시작 친환경 에너지로 새로운 터닝포인트

어느덧 여름을 알리는 5월 말, 경기도 용인에 위치한 국내 유일의 바이퓨얼(Bi-Fuel) 전문기업인 로턴을 찾았다. 카페테리아를 연상시키는 세련된 인테리어, 친절함이 몸에 밴 직원들, 준수한 용모의 박주창 대표가 모빌리티 인사이트를 맞았다. 일견 로턴이 젊은 기업이라고 생각했다. 그러나 로턴은 예상과 달리 창업 10년을 넘은 기업으로 그동안 여러 어려움과 장애를 극복하고 국내 최고의 바이퓨얼 전문기업으로 성장해 왔다. 국내에서는 조금 생소한 바이퓨얼 전문기업을 어떤 이유로 만들어졌는지 로턴의 창업스토리가 궁금했다. “미국에서 대학원을 재학시절 담당 교수님의 추천으로 대체연료(Alternative Fuels)에 관심을 갖게 되었던 게 로턴의 시작인 것 같습니다. 해외 유학 중 접했던 테슬라(Tesla) 로드스터의 컨셉 사진을 보고 친환경자동차에 관심을 갖게 되었습니다. 당시 미국은 국내보다 빨리 친환경 에너지 패러다임 전환이 본격적으로 시작되고 있었는데 친환경 에너지 전환이라는 관점에서 우리나라는 미국이나 유럽에 비해 더뎠기 때문에 새로운 시장을 만들 기회라고 생각했고 한국에 복귀했을 때 이 기회를 어떻게 사업적으로 성공시킬 수 있을지 많은 고민을 했었습니다.”



미국 유학을 마친 박주창 대표는 현재 로턴의 모기업인 한국초저온용기(주)에 입사하게 된다. 한국초저온용기(주)는 우리나라 산업용 가스 산업의 선두 주자 중 하나로 재직 시절 가스 산업에 대한 폭넓은 이해와 기술에 대한 전문성을 쌓을 수 있는 시간이었다. 그러던 중 박주창 대표는 안정적인 사업보다는 새로운 창업의 길을 택했다.

“입사 후 천연가스사업을 맡아 일하던 중 천연가스를 이용한 수송용 산업에서의 새로운 기회와 가능성을 봤습니다. 그런데 B2B 산업용 가스 전문기업에서 수송용 연료시장을 접근하기엔 한계를 느꼈고 수송용 연료 전문기업이 필요하다고 판단했습니다.” 신규 창업의 필요성을 주장하는 박주창 대표는 기업 내부에서조차 반대에 부딪치게 된다. 이미 경쟁력을 갖춘 안정적인 사업에 집중해야 한다는 의견이 그것이었지만 박주창 대표 역시 뜻을 굽히지 않았고 모기업을 설득하고 새로운 비전을 제시했다.

첫 번째 아이템 CNG 시장은 결코 쉽지 않았다.

박주창 대표가 바라본 수송용 연료시장은 CNG로 버스와 1톤 트럭 시장을 진출을 목표로 했다. 대중교통이 잘 발달한 국내 버스 시장은 생각보다 컸고 여기에 전세버스 등 여러 목적으로 운영되는 디젤 버스가 2013년 당시에도 약 4만대 수준이었다. 이뿐만이 아니었다. 자영업자들 사이에서 대중적으로 사용되는 1톤 트럭 시장은 2013년 연간 10만대의 신차시장 규모를 갖고 있었다. “2013년 당시 우리나라 1톤 트럭은 모두 디젤 차량이었습니다. 지금과 달리 LPG옵션, 전기옵션 등 선택권이 없었죠, 버스는 조금 상황이 달랐지만 역시 디젤버스가 많았습니다. 이미 고압천연가스 기술을 갖고 있었기 때문에 디젤에 비해 친환경 연료로서 CNG를 사용하면 CO2와 NOx 배출량을 저감하고 경제성까지 확보할 수 있다고 판단했고 첫째, 디젤 버스의 CNG로 전환, 둘째 1톤 디젤트럭의 CNG 혼합연소 사업을 시작했습니다. 무엇보다도 기술 역량이 충분했기 때문에 성공에 대한 자신감이 컸습니다.”

그러나 로턴의 첫 사업은 충분한 가능성을 가졌음에도 불구하고 결과는 달랐다. 이유가 뭘까? “CNG 혼합연소사업은 현실은 기대와 달라 만족스러운 성과를 만들지 못했습니다. 시장에는 생각하지 못한 두 가지 사업 허들(장벽)을 갖고 있었습니다. 첫째, 인프라 부재였습니다. 2013년 당시 국내 CNG충전소는 180여 곳으로 적었습니다. 또 대부분의 충전소가 안정성 등 여러 이유로 접근성이 부족한 외진 곳에 위치해 있어 이용에 불편함이 컸는데 특히 자영업자들이 사용하는 1톤 트럭의 경우 충전으로 인해 이동성 제약이 커지면 영업 커버리지(범위)가 좁아지게 됩니다. 영업을 위해 구매한 차량이 오히려 방해가 된다면 구매할 이유가 없어지게 되는 셈이죠. 둘째, 국제유가 폭락으로 인한 CNG의 가격 경쟁력 상실입니다.

2014년 사업 초창기에 갑자기 국제유가가 배럴당 105달러에서 25달러까지 폭락을 맞게 됩니다. CNG혼합연소사용을 위해서는 대당 최소 800만원에서 많게는 1,500만원 정도가 선투자 필요한데 유가 폭락으로 인해 투자비용 회수기간이 지나치게 길어져 버렸습니다.” 세월이 흘러 로턴의 사업모델은 직격탄을 맞은 셈이다. 1970년대 이후 감소했던 미국의 원유 생산량은 2013년부터 급격하게 성장하기 시작했고 2017년에는 역대 최고 생산량을 2018년에는 세계 1위의 원유생산을 기록하기도 했다.

친환경 연료전환은 필수! LPG바이퓨얼로 로턴!

로턴의 CNG사업은 외적, 내적 요인으로 인해 지속하기 어려웠다. 특히 일시적인 현상이 아닌 장기적으로 해결하기 어려운 문제였기에 시작한 지 1년 남짓이지만 사업 지속에 대한 대담한 결정이 필요했고 동시에 새로운 대안도 제시해야 하는 로턴으로서는 사면초가의



상황이었다. “고민은 많았지만 좌절하지 않았습니다. 이유는 제 개인에 대한 믿음이 아니라 새로운 친환경 연료의 시대는 필연적이라고 생각했기 때문입니다. 개인적으로 CNG혼소시스템은 그 과정에서 겪은 아이템의 실패라고 생각했고 시장성을 갖춘 대안을 만들어 낸다면 친환경 연료시장은 자동차산업에서 경쟁력을 갖게 된다고 믿었습니다.” 박주창 대표는 새로운 대안을 발견하기 위해 글로벌 트렌드를 찾고 찾았다. 그러던 중 눈에 띈 것이 LPG바이퓨얼(Bi-fuel)이었다. “해외 시장을 조사하던 중 유럽의 모든 자동차들이 소비자들에게 바이퓨얼 시스템을 연료 옵션 중 하나로 제공하고 있다는 점이 LPG바이퓨얼의 시작이었습니다. 유럽과 달리 국내 자동차 시장에서는 완성차 업체들이 전용 LPG 자동차를 제작해 영업용이나 장애투 등 한정적인 용도로만 판매해 왔습니다. 이렇다보니 일반 소비자들에게 바이퓨얼은 개념조차 없었고 LPG차량은 LPG만을 사용하는 모노퓨얼(Monofuel)개념만 존재했습니다. 그런데 해외에서는 완성차가 판매 시 바이퓨얼시스템을 옵션으로 제공해 소비자에게 선택권이 주어졌습니다. 당연히 우리나라에서도 안될 이유가 없다고 생각했습니다.”

가스개조차 이미지를 벗자! 모든 것을 바이퓨얼답게!

바이퓨얼로 새롭게 사업 목표를 정했지만 국내 시장은 만만치 않았다. 우선은 완성차기업의 정식 옵션이 아닌 바이퓨얼에 대한 신뢰와 전문성을 인정받기 어려웠다. “우리나라의 LPG바이퓨얼 역사는 길입니다. 1960년대부터 일명 ‘가스개조차’라는 이름으로 시작되었음에도 소비자들의 만족감은 낮았어요. 시스템의 장점은 분명히 그 장점을 보여줄 기술이 부족했기 때문입니다. 국내 LPG튜닝업체들은 가내수공업 수준으로 개조가격에 비해 시스템의 질은 낮았고 또 가스개조에 대한 공식보증(Warranty)이 없었기 때문에 어쩔 수 없이 사용한다는 인식이 많았고 평가 역시 나쁠 수밖에 없었죠. 그래서

바이퓨얼 사업을 성공시키려면 기존 가스개조 수준의 기술, 품질보증, 서비스 등 모든 것을 바꿔야 성공할 수 있겠다고 판단했습니다.”

박주창 대표는 국내 최고의 LPG바이퓨얼 전문기업이라는 새로운 목표를 세웠다. 가장 먼저 기술력 확보에 나섰다. 세계 최고의 대체 연료시스템 기술을 보유한 네덜란드 프린스사와 기술협약 계약을 맺고 기술 제휴를 바탕으로 국내 차량용 엔진에 따라 로턴만의 전용 LPG바이퓨얼시스템을 개발했다. 둘째, 대고객 신뢰 회복을 위해 직원들의 고객 서비스 교육을 강화했고 본격적으로 비전 제시가 쉬운 브랜드를 만들었는데 그 이름이 바로 로턴(Ro-Tum)이다. 마지막으로 유튜브 등 SNS채널을 활용한 적극적인 바이퓨얼 홍보에 나섰다. 기존 가스개조차에 대한 부정적인 인식이 바이퓨얼로 이어지는 것을 막고 적극적으로 바이퓨얼의 장점을 홍보하고 올바른 정보를 알리기 위해 기업이 직접 나선 셈이다.

바이퓨얼시스템도 기술이 경쟁력 완성차 기업보다 기술력 앞서

“보통 바이퓨얼을 복합연료 사용을 위한 하드웨어적인 접근으로 보는 경우가 많지만 이걸 과거의 가스개조 수준이지 바이퓨얼이 아닙니다. 실제 우수한 바이퓨얼시스템을 만들기 위해서는 차량마다 최적화된 바이퓨얼시스템, 즉 하드웨어는 기본이고 소프트웨어까지 융합 개발해야만 경제성과 환경성 그리고 소비자의 만족까지 얻을 수 있습니다. 저희가 자부심을 갖고 있는 기술 중 하나가 LPG직분사 시스템으로 4세대 LPG기술이라고 할 수 있는데 완성차업체보다 먼저 LPG직분사 시스템을 개발하고 현대자동차의 아반떼 1.6 GDI 엔진 전용 LPG바이퓨얼 시스템을 시작으로 8기통 5.0GDI 엔진 전용 시스템까지 다년간 현대자동차와 기아자동차의 라인업 전차량에 대한 LPG직분사시스템을 개발했습니다.” LPG직분사시스템은

직분사엔진(GDI)의 주연소실 내에 직접 LPG를 액상분사하여 가솔린과 거의 흡사한 출력을 내는 기술로 실제 직분사LPG엔진은 차량의 시동부터 운행까지 가솔린대비 97~98% 수준까지 성능구현이 가능하면서도 유류비 절감 효과 역시 탁월하다.

소비자의 인식 바이퓨얼 실제와 달라

바이퓨얼을 두고 소비자들 사이에서는 우려의 목소리가 높다. 하나의 엔진에서 두 가지 연료를 사용하기 때문에 성능에 대한 우려와 높은 유지보수 비용 등을 단점으로 지적하는데 단지 소비자들이 잘 못된 오해인가? 아니면 실제로 바이퓨얼시스템의 단점인가? “바이퓨얼은 전혀 문제가 없습니다. 다만 바이퓨얼을 가스개조로 보는 소비자 인식이 문제입니다. 국내 바이퓨얼 시장은 가스개조로 출발했는데 전문성이 부족했던 탓에 초창기 가스개조는 여러 가지 단점들을 갖고 있다보니 기술력부터 가스개조와는 차원이 다른 바이퓨얼 시스템을 소비자들은 여전히 가스개조 수준으로 받아드리고 있는 것이 현실입니다.” 로턴은 사업 초기 기술개발을 완료하고 자체적으로 바이퓨얼시스템에 대한 소비자 보증을 위해 국내 모든 보험사들과 제휴를 추진했지만 당시 선례가 없던 탓에 보증보험 가입에 큰 어려움을 겪었다.

해외 보험사까지 모두 조사한 로턴은 타당성을 입증해 2017년부터 현대해상을 통해 업계 최초이자 아직까지도 국내 유일한 현대해상 제조물책임보험(PL보험) 가입해 소비자 보증을 제공하고 있다. 더 놀라운 것은 지난 7년간 1만여대의 LPG바이퓨얼 시스템 장착 차량 중 단 한 건의 클레임도 없었다는 점이다. 로턴의 우수성은 이뿐만이 아니다. “근래 시스템 점검을 위해 방문한 고객 사례를 보면 저희가 초기 장착한 K9 3.8 카카오블랙 택시로 주행거리가 100만km를 넘은 차량이었습니다. 저희가 차주분께 차량을 구매해 전시하고 싶다고 요청했지만 아직은 더 운행하겠다며 사양하시더군요. 초창기 저희 LPG바이퓨얼을 접목한 차량은 모두 영업용택시로 자가용과 달리 매일 수백km이상을 주행하는 혹독한 환경임에도 주행거리 50만km를 넘는 차량을 찾기가 어렵지 않을 정도로 저희 시스템의 내구성과 안정성에 인정받고 있습니다.”

제도권 밖 개조차에서 자동차산업의 정식 옵션으로

이미 CNG시장에서 기업이 해결할 수 없는 문제로 어려움을 경험한 박주창 대표는 LPG바이퓨얼시장에 대해서는 통제할 수 없는 문제에 대해 현실적인 시장 개발 전략을 세웠다. “CNG사업에 비해 LPG 바이퓨얼 사업의 가장 큰 장점은 국내에 2,000개가 넘는 LPG 충전 인프라를 활용한 확장성이었지만 반면 일반인은 LPG차량을 탈 수



없다는 규제가 사업 성장에 어려움이 될 것으로 보고 이미 시장성이 확보된 영업용택시시장을 메인타겟으로 시장에서 원하는 차량 개발에 집중했습니다. 다행히 2016년부터 2017년까지는 국내에 다양한 모빌리티 서비스들이 앞다투어 등장한 시기로 '카카오모빌리티', '우버'를 시작으로 '아이엠 모빌리티'와 '타다' 등 택시 모빌리티 플랫폼 업체들이 등장할 때마다 협업을 맺고 저희 LPG바이퓨얼시스템의 보급 확대와 우수성을 검증받는 기회로 만들었습니다.” 2019년 4월 일반인에 대한 LPG 차량에 대한 규제가 풀리기 전 로턴은 국내 모빌리티기업들과 협업하면서 독자적인 LPG 바이퓨얼 전문기업으로 성장했다. “올해는 저희 로턴에게 큰 의미가 있는 해입니다. KG모빌리티의 토레스 LPG하이브리드차량의 LPG바이퓨얼시스템 협력사로 선정되어 커스터마이징 사업을 진행하고 있기 때문인데 이는 저희 로턴의 LPG바이퓨얼시스템이 제도권 밖의 개조가 아니라 공식적인 자동차 연료옵션으로 인정받게 되었으며 이는 LPG바이퓨얼의 성능과 우수성에 대한 검증이 자동차 업계의 기준을 충족했다는 의미로 볼 수 있습니다.”

바이퓨얼의 미래 자동차산업에서 어떤 역할이 할까?

최근 전기차시장이 급성장하면서 내연기관 차량 중 LPG차량의 친환경성과 경제성은 뛰어남에도 국내에서 LPG차량 인기가 감소하고 있지만 LPG바이퓨얼에 대한 기대감은 높다. LPG바이퓨얼이 LPG차량의 새로운 대안 모델로 인정받아 LPG자동차 시장의 침체를 반전시킬 수 있을 것으로 기대하기 때문이다. “로턴과 KG모빌리티와 협업을 주목할 필요가 있습니다. 과거 바이퓨얼에 대한 완성차기업의 반응을 기대하기 어려운 시장이었다면 이제 완성차와 로턴의 니즈(Needs)가 맞아 떨어진 타이밍이 왔다고 보는데 완성차도 친환경 트렌드에 맞춰 전동화 이외에 연료의 다변화가 필요했고 저희 역시 바이퓨얼시스템에 대한 신뢰성과 대중화가 꼭 필요한 시기였습니다. 현재 대상 차량인 토레스는 1.5 T-GDi 가솔린 엔진으

로 2020년부터 LPG 바이퓨얼 개발에 착수하여 수많은 시행착오와 까다롭고 긴 내구시험을 통해 개발한 시스템입니다. 보통 LPG 바이퓨얼시스템 개발은 6개월에서 1년 정도면 완료되는데 1.5T-GDi 엔진은 2년을 넘게 개발하여 시스템의 성능과 안정성에 대한 확신이 더 큼니다. 반면에 정책에 대해서는 아쉬움이 있습니다.” LPG차량에 대한 국내 정책은 소극적인 반면 유럽은 LPG자동차 보급에 적극적이다. 예를 들어 이탈리아는 LPG차량 구매 시 에코보너스로 2000~5000유로(한화 270~700만원) 보조금을 지원하고 친환경차 의무구매 대상에는 LPG차를 포함시켜 보급을 촉진하고 있다. 프랑스와 스페인은 배출가스 등급에서 1등급-에코 등급으로 분류해 무료주차, 등록보유세 할인, 부가세 환급 등 다양한 세제혜택이 주고 있다. “해외와 달리 국내에서 LPG차량의 대한 지원은 2019년에 일반인에게 구매제한이 풀린 것 이외에 다른 혜택은 없고 2024년부터는 LPG차량은 저공해 차량에서 제외된다는 것도 아쉬운 부분입니다. 전기차와 수소차를 미래차로 이야기하고 저 역시 동의하지만 현실화의 가능성은 아직 희박합니다. 따라서 친환경 전동화시대로 가기까지 합리적인 대안으로 LPG바이퓨얼이 친환경 미래차 전환의 Bridging energy로의 역할을 충분히 할 수 있다고 생각합니다.”

로턴 바이퓨얼의 넥스트 하이브리드 LPG 바이퓨얼(Bi-fuel)

최근 자동차산업에서 전동화를 두고 내연기관의 100% 전동화 전환에 신중론이 힘을 얻고 있다. 또 내연기관의 존속 기간도 예상보다 길어질 것으로 보는데 내연기관자동차라는 점에서 LPG바이퓨얼시스템의 미래 전략은 무엇인지 궁금하다. “개인적으로 내연기관 자동차가 2050년을 넘어 더 오래 유지될 것으로 봅니다. 다만 미래의 내연기관 자동차는 지금의 내연기관차와 달리 최소 기존 내연기관보다 20~40%정도 배출가스 절감이 요구될 것이고 저희 로턴의 하이브리드 LPG바이퓨얼로 충분히 가능하다고 말씀드립니다.”

로턴은 5년전부터 하이브리드 엔진에 접목된 LPG시스템이 앞으로의 내연기관 자동차의 경쟁력 향상에 도움이 될 것이라고 판단, 1.6 하이브리드, 2.0 하이브리드 및 최근에 개발된 1.6 터보 하이브리드까지 개발하고 영업용차량을 중심으로 장착해 운행 중에 있다. “좀 더 자세히 말씀드리면 기존 하이브리드 차량의 특징은 주연료는 휘발유를 쓰고 지속 구간에서는 전기모터 활용해 전기로 운행하며 연비를 극대화시켰는데 여기에 하이브리드 LPG바이퓨얼 시스템이 더해지면서 LPG를 주연료로 사용함으로써 휘발유 엔진보다 더 월등한 경제성을 보여줄 수 있으며 친환경성에서도 더 우수합니다.” 로턴의 하이브리드 LPG바이퓨얼시스템 영업용 택시시장에서 큰 인기를 얻고 있는데 기존 LPG 택시 대비 평균 2~2.5배정도 연료비 절감 효과가 검증되었기 때문이다.

“앞으로 KG모빌리티와 협업 사례를 통해 다른 완성차업체와의 공조를 더 확대할 계획입니다. 이외에도 유럽시장에서는 로턴이 개발한 1.6 GDi 하이브리드용 LPG바이퓨얼 시스템에 대한 긍정적인 평가가 이어지고 있고 특히 기아자동차 이탈리아 법인에서는 로턴의 바이퓨얼 옵션을 판매하고 있으며 좋은 평가를 얻고 있습니다. 또 내연기관엔진을 활용한 다양한 친환경 연료 예를 들어 수소나 DME, 이퓨얼 등 다양한 대체연료와의 바이퓨얼 시스템도 개발 논의 중에 있어 앞으로 바이퓨얼의 혼합사용을 통해 저배출 연료 사용이라는 수송분야의 탄소중립 전략의 완성에 기여할 것으로 예상합니다.”

새로운 전환기 하나의 방법만을 고집할 필요는 없다. 미래자동차시장 역시 다양한 가능성을 기반으로 한 현실적인 접근이 현명해 보이는 것도 이 때문이다. 국내 유일의 바이퓨얼 전문기업인(주)로가 국내 자동차산업의 경쟁력을 높이고 저배출 연료 시장에서 새로운 플레이어로 성장하길 기대하며 바쁜 일정에도 불구하고 인터뷰에 응해주신 박주창(주)로 대표님께 감사 말씀드립니다.

로보택시의 현주소 및 주요 극복과제

전현주 한국자동차연구원 산업분석실 선임연구원

KATECH INSIGHT

- ◆ 로보택시는 고도의 자율주행에 기반한 교통 서비스로 다양한 사회적 변화를 이끌 잠재력이 있으나, 서비스 상용화의 전제인 기술개발 지연 및 자금사정 악화 등으로 최근 관련 업계의 지형이 급변 중
- ◆ 로보택시 산업의 지속 발전을 위해 기술개발 외에도 비용 현실화, 가치 명확화가 요구되고 있으며, 산업의 근본적인 동력은 유지될 가능성이 높으므로 사회적 차원의 대비를 지속하는 것이 필요함

로보택시 고도의 자율주행 기반 교통 서비스 다양한 사회적 변화 이끌 잠재력 보유

우리나라, 미국, 중국 등 주요국에서 빅테크 기업, 완성차사 등 다양한 주체들이 로보택시 서비스에 요구되는 자율주행 레벨4 이상*의 기술개발을 위해 실증 진행 중이며 특히 미국, 중국 등은 제도를 정비하여 안전요원이 탑승하지 않는 로보택시 운행허가 제도를 시행하고 있다. 대표적으로 미국의 캘리포니아에서는 Waymo, Cruise가 중국의 우한-충칭-베이징에서는 Baidu가 운행허가를 획득했다.

로보택시를 위한 고도의 자율주행 시스템을 개발하는데 많은 비용이 소요되지만 중전 택시·승차공유서비스 사업모델의 단점인 높은 변동비 절감과 차량 가동률(utilization rate) 향상을 기대할 수 있다. 특히 완성차사의 경우 자율주행 기반의 서비스 사업으로 확

대가 가능하고, 빅테크·승차공유기업 등은 자율주행 시스템 자체를 수익화하는 등 사업다각화에도 이점이 있어 많은 기업들이 관심을 보여왔다. 기업뿐 아니라 개인의 경우에도 장래 자율주행 시스템의 장착 비용이 현실화될 경우 자신의 차량을 사용하지 않는 유휴 시간에 이를 로보택시로 운영함으로써 수익 창출이 가능할 것으로 전망된다. 한편, 로보택시 서비스가 고도로 발전하면 소비자는 차량을 직접 소유하는 것에 비해 낮은 비용으로 충분한 이동성을 확보할 것으로 기대되므로 그에 따라 이동·거주 관련 사회문화에도 영향을 미칠 것으로 본다.

*美 SAE에서 제시한 자율주행 기술 수준이 가장 일반적으로 통용되는데 자율주행 레벨4는 지정된 조건에서, 레벨5는 모든 영역에서 사람의 개입 없이 차량을 운행할 수 있는 기술을 의미함

[로보택시 형태]

기업명	Cruise 'Origin'	Baidu 'RT6'	Zoox
차량 형상			

* 출처: 언론보도 및 각사 홈페이지



아이오닉5 로보택시 시험차

서비스 전제인 자율주행 기술개발 지연, 자금사정 악화 등으로 업계지형 급변

그간 자율주행 기술개발 및 로보택시 실증에 많은 투자가 이루어졌으나, 관련 기술의 복잡성, 안전, 개별 시스템 구성에 높은 비용이 소요되는 등의 문제로 당초 예상보다 기술개발과 실증사업은 매우 더디게 발전하고 있으며 BCG Consulting社は 앞으로 2035년까지 완전자율주행 실현을 위해 약 59조원의 연구개발 비용이 추가로 필요하다고 전망했다.

기술개발과 사업화의 지연으로 경영이 어려워진 승차공유업체, 레벨4 이상 기술 상용화 지연에 따라 레벨 2, 3에 집중하는 완성차, 개발 리스크를 감소시키기 위한 빅테크 기업 등 다양한 목적의 M&A, 합작사 설립으로 경쟁구조가 변화하고 있다. 구체적으로 Uber는 2020년 12월 자율주행 사업부(ATG)를 Aurora에 매각했으며, 지난해 10월 Ford·VW는 자율주행 스타트업 Argo AI 청산했다. 한편, Amazon과 Woven Planet(Toyota 자회사)는 각각 Zoox(2020. 06)와 Lyft(2021. 05)를 인수했으며, 현대차는 2020년 3월 소프트웨어 솔루션 기업 Aptiv와 Motional을 합작 설립하고 자율주행 스타트업 42dot 지난해 8월 인수했다.

로보택시 서비스 상용화의 과제 비용 현실화 및 소비자 사회적 가치 제시 등도 필수

현재 기준 상용화된 자율주행 기술은 돌발 상황에서 인간의 개입이 필요한 레벨2~3 수준이므로 로보택시 서비스의 상용화를 위해서는 고도화가 필요하다. 아직 다양한 도로 상황에 대해 자율주행 시스템의 인식·판단·제어과정에서 오류 발생 가능성이 있으며, 복잡한 시스템 구성으로 사고 발생 시 시스템-제조사-통신 등 책임 소재 파악이 어렵다. 실례로 2022년 6월 미국 샌프란시스코에서 Cruise의 로보택시와 승용차가 충돌해 두 명의 부상자가 발생했으며, 올해 3월에는 버스의 뒷부분에 충돌하는 등 로보택시 운영 중 발생한 사고로 Cruise는 각각 소프트웨어 리콜을 진행했다.

경제적 측면에서 로보택시의 운영수익은 검증되지 않은 상태이나 궁극적으로 유인 운송 서비스 대비 낮은 비용구조가 요구된다고 볼 때 단위 차량 생산비용을 충분히 낮추어 기대되는 사업성의 향상이 필요하다. 주요 업체들은 로보택시의 뼈대가 되는 차량의 플랫폼화 등을 통해 공급망 효율화(부품 공용화율 증대), 규모의 경제 효과 유발 등 비용 절감 노력 전개하고 있는데 중국의 Baidu Apollo의 로보택시 원가는 (4세대) 96만위안(추정)→(5세대) 48만위안(△60%)→(6세대) 25만위안(△50%)로 점차 하락할 것으로 추정하고 있으며 Cruise의 Origin은 전기차 전용플랫폼을 활용해 100대를 생산했고 공개된 대당 가격은 5만 달러이다.

마지막으로 소비자 사회적 가치측면에서 로보택시는 대중교통 수단의 성격을 띠므로 개별 이용자의 편의 증진 외에도 비자율주행차 및 여타 이동수단과의 연계 등을 통한 모빌리티 시스템 전반의 효율성 증대 가능성이 제시되어야 한다. 특히 자율주행차 확대에 대해, 英 교통부(2023. 1)는 고령자·운전면허 미보유자 이동 증가로 교통정체 악화 가능성을 제기하고 美 MIT(2023. 1)는 CO₂ 배출량 증가 가능성 제기하는 등 우려도 존재한다.

산업 근본 동력 유지될 가능성 높아 사회적 차원의 대비 지속하는 것도 중요

기술적 상징성과 승자독식 특성에 따라 로보택시 기업의 연구개발 및 상용화 시도는 지속될 전망이다. 특히 로보택시는 사용자가 증가할수록 추가비용은 낮아지고 그 가치는 증가하는 네트워크 효과에 기반하고 있는데 네트워크 효과에 기반한 플랫폼 생태계는 일부 기업의 점유율이 50%가 넘는 승자독식 구조(Amazon, Uber 등)로, 시장을 선점하고 점유율을 극대화하는 소수의 공급자로 거듭나기 위한 주요 기업 간 경쟁은 지속될 것이다.

소비자가 신기술을 긍정적으로 인식하고 이용을 늘리기 위해 사회적 수용성 제고 방안 마련도 필요하다. 자율주행 기술 진보에도 불구하고 기술에 대한 소비자 불신이 오히려 증가하는 경향도 나타나고 있으므로, 소비자의 이해도 증진 및 로보택시 개발 관련 사회적 지지 확보를 위한 교육과 체험의 기회 제공이 필요하다. 대표적으로 미국자동차협회(AAA)에 따르면 첨단운전자보조시스템(ADAS)과 자율주행에 대한 의미를 혼동한 소비자로 인해 자율주행차 불신 비율은 55%(2022)→ 68%(2023)로 증가했으며, 신뢰 비율은 30%(2022)→ 23%(2023)로 감소한 것으로 나타났다.

베스트셀러로 본 주요 완성차 시장 트렌드

양재완 한국자동차연구원 산업분석실 책임연구원

KATECH INSIGHT

- ◆ 세계 주요 완성차 시장의 인기 판매 모델(베스트 셀러)을 기준으로, 팬더믹으로 인한 소비자 선호 차종의 변화와 가격 접근성 향상에 힘입은 전기차 수요 확대 등의 추세가 감지
- ◆ 글로벌 주요 완성차 시장 간에 인기 차종 모델의 디커플링(Decoupling) 양상이 지속되는 가운데 향후 완성차 기업들은 현지화 전략과 볼륨 모델 확보 전략을 병행할 것으로 전망

팬더믹을 계기로 글로벌 완성차 시장 소비자 선호 차종변화추세 선명, 전기차 수요 지속 확대

소비자들의 자동차 공간 활용성에 대한 인식 변화와 레저 활동의 증가 등으로 인해 SUV 모델 선호가 더욱 강화되고 중소형 세단 등은 수요가 감소하는 등 자동차의 표준형이 달라지고 있다. 팬데믹 이전에는 세단 판매량이 가장 높았으나 2021년부터 SUV 판매 비율이 38.5%로 올라서며 35.0%의 승용세단을 역전했으며 통적으로 높은 판매량은 유지하던 도요타 'Corolla', 혼다 'Civic'와 같은 C 세그먼트 세단과 포드 F-Series 등의 픽업트럭 차량들은 지속적으로 판매량 감소하고 있다.

반면, 테슬라 등 가격 접근성·상품성을 높인 전기차 모델이 세계적으로 내연기관차 수요를 대체하고 있으며 중국의 우링이 출시한 초저가 소형 전기차가 새로운 시장을 창출하면서 2022년 글로벌 베스트셀러에 진입하였다. 글로벌 판매량 기준, 테슬라 'Model Y'는 2위, 'Model 3'는 6위, 우링 '홍광 Mini EV'는 9위를 기록했으며 전기차 판매량 증가로 내연기관차 인기 모델인 VW 'Golf'와 'Tiguan'은 판매량 순위 10위 밖으로 하락했다.

[글로벌 모델별 판매량 순위]

(단위:대)

모델	2018			2020			2022		
	모델	판매량	세그먼트	모델	판매량	세그먼트	모델	판매량	세그먼트
1	도요타 Corolla	1,125,496	C	도요타 Corolla	1,083,665	C	도요타 Corolla	904,346	C
2	포드 F-Series	1,060,436	픽업트럭	포드 F-Series	921,377	픽업트럭	테슬라 Model Y	864,763	SUV-D
3	혼다 Civic	780,130	C	도요타 RAV4	914,897	SUV-D	도요타 RAV4	823,386	SUV-D
4	도요타 RAV4	778,715	SUV-D	혼다 CR-V	718,978	SUV-D	포드 F-Series	772,445	픽업트럭
5	VW Tiguan	769,030	SUV-C	혼다 Civic	653,191	C	도요타 Camry	646,708	D
6	VW Golf	751,030	C	쉐보레 Silverado	646,673	픽업트럭	테슬라 Model 3	600,211	D
7	혼다 CR-V	720,806	SUV-D	도요타 Camry	607,238	D	혼다 CR-V	588,957	SUV-D
8	도요타 Camry	655,617	D	RAM Pickup	563,676	픽업트럭	쉐보레 Silverado	575,821	픽업트럭
9	쉐보레 Silverado	650,321	픽업트럭	VW Tiguan	560,032	SUV-C	우링 홍광 Mini EV	572,757	A
10	RAM Pickup	536,980	픽업트럭	VW Golf	437,250	C	현대 Tucson	504,476	SUV-C
	합계	92,654,055			77,053,621			79,473,663	
	전기차 비율	1.4%			2.7%			9.8%	

출처: MarkLines(집계 기준이 62개국으로 he통계와 모델별 판매 순위에 일부 차이가 있을 수 있음. 이하 통계에서도 동일)
※ 포드 F-Series 및 RAM Pickup은 통합 자료만 존재, 녹색은 전기차(BEV) 전용 모델



테슬라 Model Y



쉐보레 Silverado

[글로벌 차종별 판매 비율]

모델	2018		2019		2020		2021		2022	
	차종	비율	차종	비율	차종	비율	차종	비율	차종	비율
1	승용세단	41.9%	승용세단	39.9%	승용세단	37.0%	SUV	38.5%	SUV	40.8%
2	SUV	31.5%	SUV	33.3%	SUV	35.9%	승용세단	35.0%	승용세단	35.2%
3	MPV	5.6%	픽업트럭	5.9%	픽업트럭	6.1%	MPV	4.1%	픽업트럭	5.9%
4	픽업트럭	5.4%	MPV	5.2%	MPV	4.2%	픽업트럭	5.9%	MPV	4.1%
5	구분불가	15.5%	구분불가	15.5%	구분불가	16.8%	구분불가	16.4%	구분불가	14.0%

* 출처: MarkLines(62개국 기준) ※ 승용세단은 A-F세그먼트의 합계

중국정부의 전기차 정책에 힘입어 전기차 시장 확대

중국시장의 경우 중소형 세단의 선호도가 높은 시장이었으나 최근 초저가 전기차 및 SUV 전기차 모델이 시장에서 양강 구도를 형성하고 있다. 이는 그간 중국 정부의 적극적인 전기차 보급 정책으로 2018년 2.7%에 불과하던 전기차(BEV) 비율이 2022년 18.7%까지 증가하였고, 완성차 업체들도 초저가, SUV 등 다양한 차종을 출시하며 판매 확대를 견인했기 때문이다. 특히 작지만 실용적이고 가격 경쟁력을 갖춘 초저가 전기차 모델인 우링 '홍광

Mini EV가 젊은 소비자층에게 크게 인기를 끌며 2022년 판매량 57만대로 판매량 1위 달성했다.

이외에도 테슬라 'Model Y'와 PHEV 모델인 BYD 'Song DM'과 같은 SUV 전기차 모델의 인기도 크게 상승하면서 2022년에 각각 46만대로 2위, 41만대로 3위로 상위권을 차지하며 존재감이 확대했는데 이는 중국 내 SUV 전기차 판매량의 증가는 큰 차량을 선호하는 소비자 수요를 충족하는 다양한 모델의 등장, 차량 사이즈에 제약 받지 않는 중소도시 내 수요 증가 등이 그 배경으로 분석된다.

[중국의 모델별 판매량 순위]

(단위:대)

모델	2018			2020			2022		
	차종	판매량	세그먼트	차종	판매량	세그먼트	차종	판매량	세그먼트
1	동풍닛산 Sylphy	481,216	C	상해VW Lavida	417,324	C	우링 홍광 Mini EV	572,757	A
2	우링 Hongguang	476,537	MPV	장성 Haval H6	376,864	SUV-D	테슬라 Model Y	455,091	SUV-D
3	상해VW Lavida	468,792	C	FAW도요타 Corolla	350,310	C	BYD Song DM*	411,026	SUV-D
4	장성 Haval H6	452,552	SUV-D	상해VW Bora	331,813	C	상해VW Lavida	376,627	C
5	FAW도요타 Corolla	376,066	D	상해VW Sagitar	299,861	C	장성 Haval H6	288,083	SUV-D
6	바오준 510	361,403	SUV-C	상해GM Excele GT	295,857	C	FAW도요타 Corolla	257,751	C
7	상해VW Jetta	327,686	C	동풍닛산 Sylphy	282,960	C	테슬라 Model 3	255,775	D
	합계	28,080,577			25,311,069			26,863,745	
	전기차(BEV) 비율	2.7%			3.9%			18.7%	

출처: MarkLines(BYD Song DM 모델은 PHEV) ※ 녹색은 전기차(BEV) 전용 모델



포드 F-Series



피아트 500 65



닛산 Qashqai



VW Golf

미국 내 픽업트럭·SUV 꾸준한 인기, 픽업트럭 판매량 집중도 감소, 테슬라 인기 상승

미국 3대 픽업트럭 모델인 포드 F-Series, 쉐보레 Silverado, RAM Pickup은 꾸준히 상위권을 지켰음에도 불구하고, 총 판매량은 2018년 203만대에서 2020년 194만대, 2022년 164만대로 점차 감소하며 판매량 점유율 하락 추세를 나타내고 있다. 반면 테슬라 'Model Y'는 2022년에만 25만대가 판매되며 인기 모델 6위에 진입하였으며 향후 IRA 관련 전기차 세액 공제 혜택과 사이버트럭 출시 등을 고려하면 미국 내 테슬라의 영향력은 지속될 전망이다. 최근 발표한 IRA 세부지침으로 북미에서 최종 조립된 전기차에 한해 세액 공제로 보조금 최대 7500불 지급된다.

유럽 브랜드의 소형차가 강세 소비자 선호가 여타 시장 차별화 양상

오랫동안 유럽 판매 1위를 고수하던 VW 'Golf'는 디젤 게이트이후 지속적으로 판매량이 감소하였고, 최근에는 자사의 소형 SUV 모델인 VW 'Tiguan', 'T-Roc' 인기와 전기차 모델 'ID.3' 출시로 인한 분산 효과로 5위권 밖으로 하락했다.

저가 브랜드 다치아의 'Sanderо'와 'Duster' 모델이 각각 2위, 5위로 순위권에 진입하며 급부상했으며 전기차 모델은 테슬라와 VW, 스텔란티스 등이 공격적으로 판매를 확대하며 판매 비율의 10% 이상 달성했다. 다만 높은 판매 비율에 비해 다양한 차량 브랜드와 모델들이 존재하는 유럽 지역의 특징으로 인해 대부분의 전기차 모델들은 10만대 미만*의 판매량을 보이며 상위권 진입에는 실패했다.

* 2022년 전기차 판매(만대): ①테슬라 Model Y 13.6 ②테슬라 Model 3 9.1 ③피아트 500 65 ④VW ID.4 6.4 ⑤VW ID.3 5.3

인기 차종·모델의 디커플링(Decoupling) 지속 향후 현지화 전략과 볼륨모델 확보 전략 병행 예상

글로벌 자동차시장에서는 주요 시장별로 지역 특성에 맞는 인기 판매 차종·모델이 디커플링되는 양상은 지속될 것으로 예상된다. 전기차 판매 비중이 확대되는 중국은 테슬라를 제외하면 볼륨 모델을 선점한 자국 브랜드(우링, BYD)의 판매량이 더욱 증가하고, 외국 합작사들의 영향력이 감소하면서 점차 로컬 브랜드 중심으로 시장이 재편될 전망이다.

미국은 IRA 세부 지침에 따라 북미산 전기차 모델의 판매량이 지속 증가할 가능성이 높고, 유럽은 소형 전기차 및 중소형 SUV 모델이 점유율을 확대하며 인기 모델 측면에서 여타 시장과 차별화 될 것으로 예상된다. 이와같이 완성차 기업의 시장별 현지화 전략은 지속되겠지만, 테슬라와 같이 볼륨 모델이 여러 시장에서 동시

에 인기를 구가하는 사례도 있어 가격 경쟁력을 갖춘 글로벌 볼륨 전기차 모델 확보 전략도 주목을 받을 전망이다. 최근 높은 판매량 증가세를 보이는 테슬라의 'Model Y'는 가격 인하와 美 보조금 혜택에 힘입어 세계 1위 자리를 지켜오던 도요타의 'Corolla'를 제치고 올해 내연기관차를 포함한 글로벌 베스트셀러로 등극할 지도 지켜볼만한 요소이다.

* 도요타 'Corolla' VS 테슬라 'Model Y' 분기별 판매량(만대): (2022.3Q) 21.3 : 23.9, (2022.4Q) 21.4 : 27.0, (2023.1Q) 16.8 : 32.6

[미국의 모델별 판매량 순위]

(단위:대)

모델	2018			2020			2022		
	차종	판매량	세그먼트	차종	판매량	세그먼트	차종	판매량	세그먼트
1	포드 F-Series	909,330	픽업트럭	포드 F-Series	787,422	픽업트럭	포드 F-Series	653,957	픽업트럭
2	쉐보레 Silverado	585,581	픽업트럭	쉐보레 Silverado	586,675	픽업트럭	쉐보레 Silverado	513,354	픽업트럭
3	RAM Pickup	536,980	픽업트럭	RAM Pickup	563,676	픽업트럭	RAM Pickup	468,344	픽업트럭
4	도요타 RAV4	427,170	SUV-D	도요타 RAV4	430,387	SUV-D	도요타 RAV4	399,941	SUV-D
5	닛산 Rogue	412,110	SUV-C	혼다 CR-V	333,502	SUV-D	도요타 Camry	295,201	D
6	혼다 CR-V	379,013	SUV-D	도요타 Camry	294,348	D	테슬라 Model Y	247,344	SUV-D
7	도요타 Camry	343,439	D	쉐보레 Equinox	270,994	SUV-C	GMC Sierra	241,522	픽업트럭
합계		17,825,062			14,991,954			14,403,402	
전기차 비율		1.3%			1.7%			5.6%	

출처 : SMarkLines ※ 포드 F-Series 및 RAM Pickup은 통합 자료만 존재, 녹색은 전기차(BEV) 전용 모델

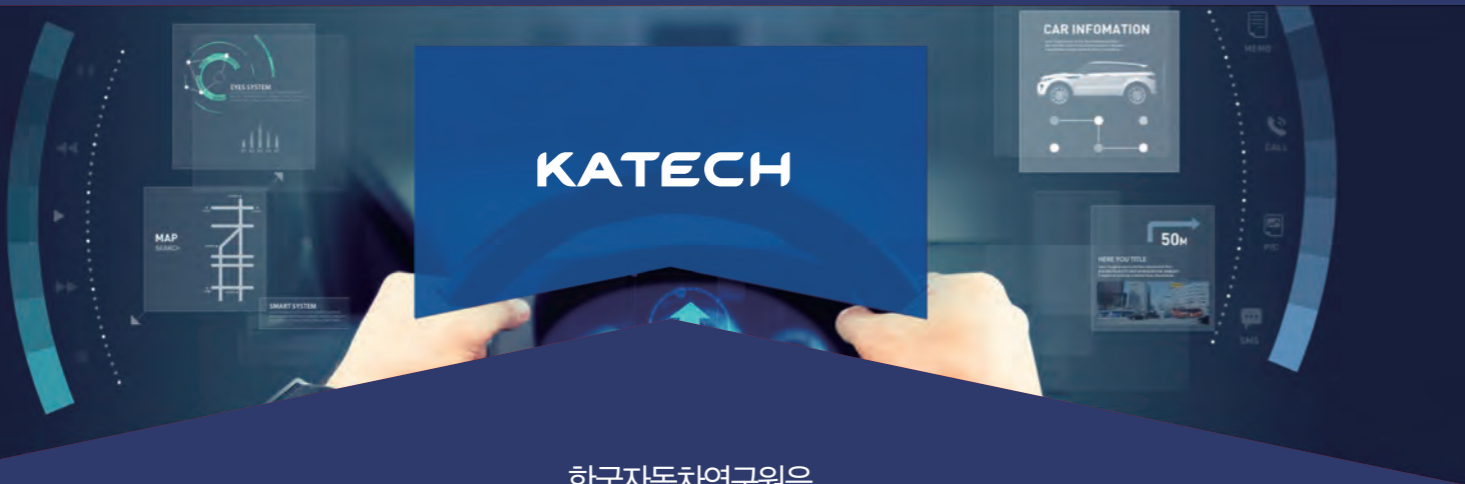
[유럽의 모델별 판매량 순위]

(단위:대)

모델	2018			2020			2022		
	차종	판매량	세그먼트	차종	판매량	세그먼트	차종	판매량	세그먼트
1	VW Golf	508,682	C	르노 Clio	312,230	B	푸조 208	218,025	B
2	르노 Clio	389,315	B	VW Golf	306,227	C	다치아 Sanderо	208,499	B
3	VW Polo	368,641	B	VW Polo	235,056	B	르노 Clio	193,995	B
4	VW Tiguan	290,078	SUV-C	VW Tiguan	216,276	SUV-C	VW T-Roc	186,138	SUV-C
5	포드 Fiesta	272,735	B	푸조 208	208,603	B	다치아 Duster	182,438	SUV-C
6	닛산 Qashqai	268,148	SUV-C	르노 Captur	198,103	SUV-B	VW Golf	180,878	C
7	르노 Captur	245,324	SUV-B	스코다 Octavia	197,252	C	피아트 500	177,285	A
합계		20,448,360			16,483,931			14,472,681	
전기차 비율		1.0%			4.3%			10.8%	

출처 : MarkLines

한국자동차산업의 경쟁력, 한국자동차연구원이 함께 합니다! 한국자동차연구원 기술이전



한국자동차연구원은
핵심기술인 소재기술, 시스템기술, 부품기술과
보완기술인 평가환경구축기술, 검증 기술, 신뢰성 기술을
개발 및 전수하고 있습니다.

한국자동차연구원 기술이전 홈페이지 통해
더 많은 정보를 확인할 수 있으며,
기술이전 상담신청이나 기술이전 설명회 참가 신청 등
기술이전과 관련된 다양한 서비스를 제공하고 있습니다.

<https://tlo.katech.re.kr>

한국자동차연구원
우수기술 이전문의

담당자 : 손민구 책임 Tel_ 041-559-3060 mgson@katech.re.kr
문환식 책임 Tel_ 041-559-3055 hsmun@katech.re.kr

기술이전이란 기업이 기존 사업확장 및 신사업 창출 등을 위해 필요한 기술을 KATECH으로부터
제공받아 자체 실시할 수 있도록 전수 받는 것입니다.

저전력 스마트 릴레이

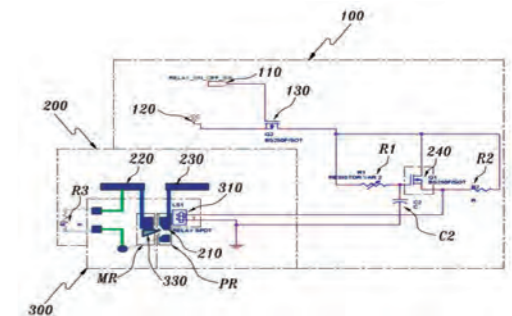
본 기술은 기존에 사용되고 있는 초충 릴레이와 메인 릴레이 제어부를 통합하고 저전력 릴레이 제어 기술을 제안하여
경제적/ 부피적으로 다운사이징이 가능한 효과를 가지며 에너지 절감효과가 있음.

개발상태

- 성능평가 완료 후 시제품 제작 단계

우수성

- 초충 릴레이와 메인 릴레이를 구조적으로 통합하여 하나의 릴레이를 이용하여 초충 기능과 메인 전력연결을 수행할 수 있음
- 접점이 불기 전에는 강한 전력을 인가하여 릴레이의 코일을 동작시키고 코일접점이 불게 되면 전력을 줄여 소비전력을 감소시킴



<초충 릴레이와 메인 릴레이를 결합한 통합릴레이>



<기존구성과 제안한 구성(전기구동장치의 와이어하네스 간소화)>

시장동향	활용분야
<ul style="list-style-type: none"> • 전기 이동수단에서 에너지 절감을 위해 각 부품요소의 소비전력을 줄이려는 연구가 수행되고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 전기 구동장치의 릴레이 부품

지식재산권 현황

NO.	특허명	출원일	출원번호	등록번호
1	프리차지 릴레이 및 메인 릴레이 제어를 위한 통합 릴레이 및 그 구동방법	2012. 02. 27	10-2012-0019487	10-1294353
2	저전력 릴레이구동장치	2015. 06. 24	10-2015-0089758	10-1937400
3	릴레이구동장치 및 방법	2019. 02. 27	10-2019-0022906	10-2142459
4	릴레이구동장치 및 그 동작방법	2019. 02. 27	10-2019-0022907	10-2150534

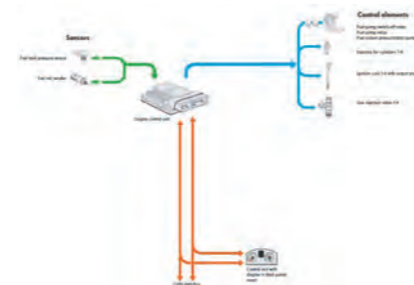
천연가스와 가솔린 바이퓨얼 차량의 가솔린 연료공급 제어장치 및 방법

본 제어기술은 천연가스와 GDI방식의 가솔린 Bi-fuel 차량이 천연가스를 연료로 사용시 가솔린 저압연료펌프의 구동전류를 차단하여 차량의 연비를 향상시키고, 또한 가솔린 연료탱크가 비어있는 상태에서 연료펌프의 구동을 제어하여 펌프의 파손을 방지하며, 천연가스에서 가솔린 연료 전환시 가솔린 연료의 베이퍼락 방지 효과를 가짐.

개발상태

- 제어 로직설계완료, 차량상대에서 추가적인검증 및 기술개발 수행 중

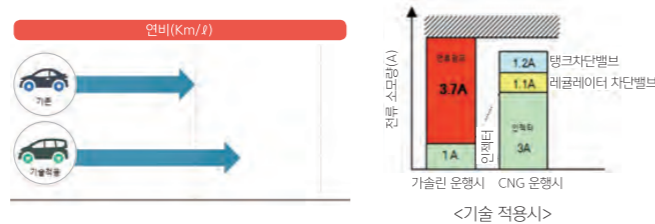
- [예상되는 문제점] CNG 운전 모드시 가솔린 연료탱크 펌프를 정지 시킨 경우
- 가솔린 연료 계의 열 발생
- 가솔린 인젝터 틈 및 연료레일의 베이퍼 발생
- 가솔린 탱크 연료펌퍼의 재 구동시 베이퍼를 역화시키지 못해 구동 불량
- 가솔린 고압연료 펌프의 베이퍼 및 구동불량



<천연가스와 가솔린 바이퓨얼 차량의 가솔린 연료공급 제어>

우수성

- 가솔린 연료탱크 저압펌프 구동 정지에 따른 연비향상
- 가솔린 연료탱크 저압펌프 정지시 발생하는 베이퍼락 판단 및 해소를 위한제어
- 가솔린 연료시스템 문제시 경고등 점멸



시장동향	활용분야
<ul style="list-style-type: none"> 전 세계적으로 천연가스 자동차는 약 2,300여만 대 (전체 차량대비 1.8%) 이상 보급되어 있으며, 세계 천연가스 차량협회는 셰일가스의 본격적인 개발과 공급전망으로 2024년까지 약 3,000만 대 이상 보급될 것으로 전망하고 있음 충전인프라가 부족한 상황에서 다양한 운전경로를 가지는 승용자동차의 경우 Bi-fuel 시스템 위주로 보급 되어있음 	<ul style="list-style-type: none"> 두개의 연료를 독립적으로 사용하는 수송기계 Bi-Fuel 차량의 엔진 제어기

지식재산권 현황

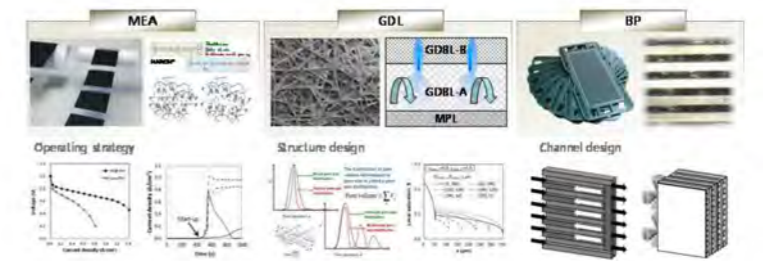
NO.	특허명	출원일	출원번호	등록번호
1	천연가스와 가솔린 바이퓨얼 차량의 가솔린 연료공급 제어장치 및 방법	2017. 07. 11	10-2017-0087677	10-2073628

소형 모빌리티용 연료전지 파워팩

5kW 이하급 소형 모빌리티에 적합한 연료전지 파워팩 최적화 솔루션으로 연료전지 핵심부품인 막전극접합체, 기체확산층, 분리판의 설계 및 시스템 운영기술임

개발상태

- 성능평가 완료 후 시제품 제작 단계



우수성

- 소형 모빌리티에 최적화된 경량화 PEMFC 파워팩 설계를 통해, 시동특성, 운전성능 및 내구성 개선



시장동향	활용분야
<ul style="list-style-type: none"> 나홀로 문화 및 언택트 문화의 확산에 따라, 기존 자동차와 차별화되는 소형 모빌리티 산업이 급성장 중이며, 기존 순수배터리 기반 모빌리티의 총방전시간 및 항속거리 문제 해결을 위해 수소연료전지 파워팩이 적용되고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 수소전기차 부품개발 (FC stack, M-BOP) 정식 분산발전 시스템 부품 개발



지식재산권 현황

NO.	특허명	출원일	출원번호	등록번호
1	연료전지용 분리판	2017. 05. 08	10-2017-0057456	10-2051993
2	연료전지용 습공기 공급 시스템	2017. 12. 28	10-2017-0182598	10-2202982
3	연료전지용 공기 공급 장치	2018. 06. 08	10-2018-0066384	10-2174085
4	연료전지용 분리판	2019. 02. 26	10-2019-0022392	-
5	수소용기용 과열방지장치	2020. 09.07	10-2020-0114016	-

미래대체연료 주요 키워드

Issue & Keyword

지속가능 항공유 (SAF, Sustainable Aviation Fuel)

항공 분야의 탄소 배출량은 전체 운송 분야 탄소 배출량의 12% 수준이지만 전기나 수소를 이용하는 항공기 엔진 개발은 미비해 가장 유력한 방안으로 바이오 연료 또는 재생에너지를 활용한 합성연료 사용을 꼽고 있다. 지속가능항공유(SAF, Sustainable Aviation Fuel)는 기존의 석유 항공유를 대체하는 바이오연료를 활용해 생산한 항공유로 현재까지 SAF는 주로 동식물성 기름이나 폐식용유, 해조류, 사탕수수, 바이오매스 등을 활용해서 생산하며 생산기술은 크게 네 가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫째, 당이나 전분 등을 포함한 당질계 원료를 항공유로 전환한 STJ(Sugar to Jet) 둘째, 바이오가스, 천연가스, 합성가스 등을 전환한 GTJ(Gas to Jet) 셋째, 폐식용유 등 동-식물성 오일을 전환한 OTJ(Oil to Jet) 넷째, 고순도의 에탄올 등 알코올을 전환한 ATJ(Alcohol to Jet)이다.

국제항공운송협회(IATA)는 2050년까지 항공 분야의 순 탄소 배출량 제로를 목표로 지속가능 항공유가 65% 정도 기여할 것으로 보고 있는데 이를 위해서는 2030년까지 230억 리터, 2050년까지는 4490억 리터의 SAF를 공급해야 할 것으로 항공운송협회는 보고 있지만 아직까지 생산량이 극히 적어 2022년 SAF사용량은 전체 항공유의 0.1% 수준이며 현재 일정 규모 이상의 SAF 생산업체로는 핀란드의 네스테, 미국의 월드에너지로 공급망도 부족한 상황으로 지속가능 항공유의 상용 가능성을 부정적으로 보는 경우도 있다.

바이오매스(Biomass)

바이오매스는 기후 위기 등 환경 문제를 해결할 재생 가능 에너지(Renewable Energy)의 하나로 관심을 받고 있다. 원래 바이오매스란 생물량이라는 생태학적 용어였으나 현재는 에너지화할 수 있는 생물체량이란 의미로 사용되고 있다. 녹색 식물은 태양에너지를 받아 물과 탄산가스를 이용하여 전분, 당 또는 섬유소를 합성하고 이를 저장하며 동물은 식물을 먹고 자란다. 또 동식물은 미생물에 의하여 중금속으로 탄산가스나 물 등의 무기물로 분해되어 하나의 순환과정을 형성한다. 이러한 생태계의 순환과정 중에 관련된 모든 유기체를 일컬어 바이오매스라 하며 이 중에서 가장 많은 것이 식물 자원

이다. 바이오매스로부터 여러 가지 형태의 에너지를 얻을 수 있는데 대표적으로 메탄올, 에탄올, 바이오 디젤유 등의 액체 연료와 수소나 메탄 같은 기체 연료 등의 바이오연료(Biofuel)를 추출할 수 있다.

바이오매스를 에너지로 변환시키면 최종적으로 나오는 이산화탄소, 물, 재, 유기비료 등은 공기, 물, 토양 등을 통하여 생물체에 스며들어 자연에서 순환함으로써 공기 중의 이산화탄소 농도를 증가시키지 않기 때문에 바이오매스 에너지의 이용은 온실가스 감축에 크게 기여할 수 있는 것은 맞다. 그러나 질량용적대비 에너지밀도가 떨어지며 계절별 수확량, 품질에서 편차를 가지고 있어 체계적인 전략을 갖추지 바이오매스의 에너지화는 한계가 있으며 바이오매스를 활용하고 남은 부산물을 어떻게 순환할지에 대한 전략이 없다면 지속가능성 역시 가치를 잃게 된다.

석유화학산업의 업스트림! 정유산업

정유산업은 크게 세가지로 구분된다. 석유를 유전에서 채굴하여 원유를 생산하고 이를 우리가 사용하는 수송 연료, 난방 연료, 석유화학제품의 원료 등으로 전환하는 첫 번째 공정을 석유 정유(Oil Refining) 공정이라 하며 크게 업스트림(Upstream), 미들스트림(Midstream), 다운스트림(Downstream)으로 구분한다. 보통 유전 탐사 및 채굴까지의 과정을 업스트림, 채굴한 원유와 천연가스를 파이프라인이나 선박을 이용해 운송, 저장하는 미들스트림, 마지막으로 원유를 이용해 다양한 연료와 석유화학의 원료를 생산하는 다운스트림으로 구분할 수 있다. 우리나라의 정유산업은 다운스트림의 비중이 크다.

정유산업에서는 석유화학의 기초가 되는 원료인 납사(Naphtha)를 생산한다. 석유화학산업은 정유산업에서 생산된 납사를 바탕으로 우리 주변에서 사용하고 있는 다양한 화학제품들을 생산하는데 석유제품(나프타 등) 또는 천연가스를 원료로 열과 촉매를 이용하여 분해하는 공정을 통해 합성수지, 합성섬유, 합성고무 및 각종 화학제품을 제조한다. 이외에도 우

리가 매일 사용하는 의식주와 관련된 각종 생활용품들도 많다. 가볍고 튼튼하여 각종 생활용품에서 많이 쓰이는 플라스틱부터 자동차 타이어, 화장품, 심지어 우리가 입고 있는 옷의 소재도 석유화학 제품이다.

그리드(Grid)

에너지 산업의 용어로 사용될 때는 그리드(Grid)는 발전소부터 송배전을 거쳐 수요자에게까지 전력이 공급되는 체계인 전력망을 뜻하며 보통 스마트그리드(Smart grid)와 동일한 의미로 사용되지만 같은 의미는 아니다. 똑똑하다는 의미의 스마트(Smart)와 전력망을 뜻하는 그리드(Grid)의 합성어인 스마트 그리드는 기존의 전력망에 정보통신기술을 접목하여 전력 공급자와 소비자가 실시간으로 정보를 교환하는 방식으로 에너지 효율을 높이는 차세대 전력망을 의미한다.

이외에 그리드를 활용한 다른 용어로 마이크로그리드(Microgrid)와 슈퍼그리드(Supergid)라는 단어도 접할 수 있는데 보통 마이크로그리드는 소규모 지역에서 전력을 자급자족할 수 있는 작은 단위의 스마트그리드 시스템을 말하고, 슈퍼그리드는 국경을 넘어까지 이어지는 거대한 규모의 스마트그리드로 특정 국가에서 생산한 전기를 끌어다 다른 나라에서도 사용할 수 있다는 의미다. 현재 탄소 중립을 위한 에너지로 주목받고 있는 전기에너지는 이동성이 취약한 에너지원이기 때문에 에너지의 기본 속성이 이동성이 취약하다. 그리드는 전기에너지의 최적화를 위한 에너지 산업의 개념으로 앞으로 그리드의 발전이 전기에너지의 미래에 큰 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

청록 수소(Turquoise Hydrogen)

수소는 이제 에너지원이다. 특히 탄소중립을 위한 에너지원으로 주목받으면서 수소 역시 전주기적 평가를 통해 그레이수소, 블루수소, 그린수소로 구분한다. 탄소중립에서는 그린수소를 가장 적합한 에너지원으로 보고 있으나 아직까지 그린수소를 합리적인 가격으로 대량 생산할 방법은 없어 대안 기술로 떠오른 것 중 하나가 바로 청록수소다.

청록수소는 천연가스를 활용한다는 점에서 그레이수소와 같지만 그레이수소와 달리 이산화탄소를 공기중에 배출하지 않고 고체화한 카본 형태로 배출하는데 생산 과정에서 발생한 고체탄소는 타이어와 고무부품 소재로도 활용할 수 있는 것도 장점 중 하나다. 또 블루수소와 비교해 탄소포집과 저장 공정이 필요하지



않아 생산 비용이 낮아지는데 블루수소의 경우 포집된 탄소를 이용하지만 이 역시 수소 비용을 상승시키는 원인 중 하나다. 마지막으로 물을 분해해 수소를 생산하는 그린수소와 대비해 블루수소의 전력 소모량이 더 적다.

청록수소가 최근 큰 관심을 받고 있지만 천연가스 혹은 바이오가스를 이용하기에 단점도 있다. 천연가스는 비용 변동성이 크고 바이오가스는 원료의 희소성 문제가 될 수 있다.

파워투엑스(P2X, Power to X)

P2X 기술은 잉여 재생에너지 전력들을 다른 형태의 연료, 에너지 등으로 저장 기술 중 하나이다. 이는 전기에너지를 기타 합성연료 형태로 저장하는 방식으로 이때 저장 가능한 합성연료로는 수소, 메탄 등과 같은 기체 연료와 메탄올, 경유 등과 같은 액체 연료, 그리고 암모니아, 포름산, 옥살산, 디메틸에테르(DME), 에틸렌글리콜과 같은 유용 화학제품 등이 있다. 이 외에도 연료가 아니라 열에너지 같은 다른 형태의 에너지로 전환하여 저장하는 것 또한 P2X 기술로 볼 수 있다.

P2X는 에너지가 전환되고 저장되는 형태에 따라 Power-to-ammonia, Power-to-gas, Power-to-heat, Power-to-hydrogen, Power-to-liquid 등 다양한 용어로 불릴 수 있고 특히 저장되는 에너지의 형태가 가스나 액체나에 따라 크게 두 가지로 분류되며 각각 Power-to-gas 기술과 Power-to-liquid 기술로 불린다. 이 같은 구분은 저장의 용이성과 이동의 용이성 관점에서 보면 가스와 액체가 가장 유리한 방식이기 때문이다. 현재 P2X 기술은 상용화에 기술적 어려움은 많지 않다. 다만 재생에너지의 공급자와 수요자간의 공급망은 아직 미비한 상태로 재생에너지 이동 생태계의 흐름이 구체화되면 P2X에 대한 투자가 집중되고 재생에너지의 또다른 가능성을 확보하는 기술로 주목받을 것이다.



글로벌 친환경차 방향성 재조명, 일본 미래모빌리티 트렌드 제공

한국자동차연구원 산업분석실

□ 커버스토리 소개

글로벌 친환경차 전기차 올인 VS 하이브리드

국내 자동차 산업, 내연기관부터 미래차까지 기술 다 갖춰 후발주자에서 리더로 나아갈 기회로 삼아야

한국자동차연구원이 주관한 이번 좌담회는 허진 좌장(인천대학교 교수), 조철(산업연구원 선임연구위원), 이상택(한국전자기술연구원 센터장), 우영민(한국에너지기술연구원 박사), 박종일(현대자동차 책임연구원), 원장혁(한국자동차연구원 책임연구원) 6명의 산학연 전문가들이 모여 전기차와 하이브리드 시장을 두고 토론했다.

일본 젤라파고스는 오해, 자동차산업생태계 안정적 전환이 목표

조철 산업연구원 선임연구위원

하이브리드는 일본의 전략일 수 있다. 내연기관 강국으로 완성도 높은 공급망을 보유한 일본은 미래차 시장에서도 산업 전반의 생태계를 유지하고자 한다. 21년 스가 총리가 2035년까지 신차판매에서 전기동력차 비중을 100%를 달성하겠다고 제시했고, 여기에는 플러그인 하이브리드(PHEV), 수소연료전지자동차(FCEV)를 포함하고 있다.



내연기관 2030년에도 60% 점유 예상

박종일 현대자동차그룹 책임연구원

선진국가 주도로 전기차 판매가 늘어나고 있지만 완성차 기업의 매출에서 하이브리드와 내연기관 비중이 여전히 높다. 2030년도 판매 예상에서도 판매차량 중 60% 이상이 내연기관 차량으로 유지될 것으로 전망하고 있어 전략적으로 선진국가에서는 하이브리드로, 후발 국가에서는 지역별 시장 운영 전략 차별화로 대응할 것이다.



전기차로 본격적인 시장 전환 후 내연기관 경쟁력 갖기 힘들어

허진 좌장(인천대학교 교수)

전기차시장은 새로운 패러다임 중 초기 즉, 시장 진입기로 시장이 본격 성장함에 따라 전기차만의 한 사이클을 거치면서 서클레이션 산업체계가 구성되면 전기차의 경쟁력을 내연기관이 따라오기 어려울 것이다. 예를 들어 리튬이온전지(LFP)를 통한 가격경쟁력, 안전성 향상, ND모터를 통한 효율성 등 요소기술 고도화를 통해 확고한 경쟁력 갖출 것으로 본다.



전환기 자동차 산업 하이브리드 중심으로 내실과 전환 대비해야

원장혁 한국자동차연구원 책임연구원

하이브리드나 내연기관의 경우 국내 기술완성도가 글로벌 최고 수준임에도 불구하고 적은 투자로도 성과를 낼 수 있다는 점이 과소평가되고 있다. 하이브리드차에 들어가는 기술인연진은 거의 완성단계로 추가적으로 높은 연구개발비의 투자없이 지금의 MPE방식이든 GD방식이든 후처리시스템으로 삼원촉매와 GPF정도만 적용하면 유로 7까지 대응이 어렵지 않아 캐시카우로서 역할이 충분하다.



전기차 시장 성장하고 있지만 에너지 분야 준비 안 돼

우영민 한국에너지기술연구원 박사

에너지 관점에서 화두는 CO2배출량이다. 2020년 국내 CO2배출량을 분석해보면 수송분야는 약 14.7%, 공공전기 및 열생산 분야는 33.2%로 수송분야의 배출량보다 2배 이상 많다. 수송분야가 전부 전기차로 전환되면 국내 에너지 생산능력이 최소 1.5배 이상 커져야 하고 더욱친환경 에너지 여부를 고려한다면 현재로서는 낙관하기 어렵다.



MOBILITY INSIGHT 2023 04월호 Review

미래 시장이 요구하는 키워드 중심 핵심 요소기술 개발해야

이상택 (한국전자기술연구원 센터장)

미래자동차산업의 방향은 친환경차 전환으로 정해졌지만 선택지는 불확실한 상황이다. 자동차산업에서 어떤 접근이 유효할까? 미래차의 방향성은 친환경적이고 그 방향성을 기초로 키워드로 뽑아내면 안전한 친환경차, 경제적인 친환경차, 편리한 친환경차라고 생각한다. 하이브리드든 전기차이든 방향성에 맞는 요소기술 개발이 가장 효과적인 전략이다.



□ 스페셜컬럼

소니-혼다 모빌리티의 전기차 아필라에서 배워야 할 것들

박정규 한양대 미래자동차학과 겸임교수

일본 미래모빌리티 기업인 소니-혼다 모빌리티가 지난 1월 CES에서 공개한 아필라(AFEELA)에 대해 분석하고 시사점을 제시했다. 소니는 '엔터테인먼트 카'라는 새로운 장르의 차량을 만들어 내리고 싶지 않은 차를 만들겠다고 한다. 특히 소니-혼다 모빌리티는 토요타와 같은 기존의 완성차와도 다르며, 테슬라와 같은 실리콘 밸리에서 탄생한 전기차 기업과도 다른 독특한 형태의 차량으로 향후 새로운 장르의 차량을 만들어 낼 것으로 보인다.



□ 정책동향

뒤쳐진 미래차 시장, 준비 서두르는 일본

허세진 한국생산성본부 선임전문위원

일본이 자동차와 모빌리티산업에서 추진 중인 미래전략을 대해 소개했다. 일본은 4차 산업혁명 대응책을 통해 2030년까지 전기차와 수소차 등 친환경 자동차의 비중 50-70%로 확대하고 자율주행차의 도로상 시범운행을 실현할 예정이며, 2050년까지는 자율주행차의 사회적 구현 달성할 계획이다. 공공모빌리티(드론, 비행차 등)는 2030년까지 상용화를 추진하고 2050년까지 공공모빌리티의 사회적 구현 달성 목표를 세웠다. 또한 2030년까지 MaaS를 통해 교통서비스의 통합과 최적화를 실현하고, 2050년까지 지속가능한 모빌리티 사회 구축한다는 전략을 제시하고 있다.



□ 트렌드리뷰

일본 자동차 시장의 대표 하이브리드 1위 토요타의 미래

이태성 머니투데이 자동차팀장

미국과 유럽에서 전기차 전환 압박과 내연기관 퇴출 움직임에 하이브리드 1위인 토요타가 위기를 맞고 있다. 전동화 전환점을 놓쳤던 토요타는 이 위기에 대응하기 위해 사상 처음으로 50대의 젊은 CEO를 임명하면서 전기차 시장의 전환을 추구하고 있다. 다만 전문가들은 토요타의 성공 여부는 새로운 전기차 전용플랫폼 개발에 달려있다고 평가하고 있다.



□ 테크리뷰

일본 내 자율주행 기술과 MaaS 추진 현황

박선홍 한국자동차연구원 주행제어기술부문 책임연구원

승객 이동 관점의 Mobility as a Service, 물류 이동 관점의 Logistic as a Service, 포괄적 수송 서비스인 Transportation as a Service, C-V2X, 원격제어, 전동화 기술들을 중심으로 한 C.A.S.E.(Connectivity, Autonomous, Sharing/Service, Electrification)는 당분간 국내외시장에서 주목을 끌 것으로 전망되고 있다. 일본 정부의 MaaS 추진 현황은 스마트 모빌리티 챌린지 프로젝트와 일상생활 밀착형 MaaS를 통해 세계 최고령 사회인 일본에 적합한 미래 모빌리티 서비스를 추진하고 있다.



□ 생생 인터뷰

국산화, 그 이상의 가치를 만들어 온 40년 인지컨트롤스

김홍집 인지컨트롤스 대표이사

1978년 설립한 인지컨트롤스는 내연기관 열관리 조절 장치 개발-제조 기업으로 국내시장 점유율은 90% 글로벌시장 점유율 10%를 차지하고 있다. 미래차 전환 시점에 부품에서 시스템으로 발전하는 열관리시스템의 글로벌 리더가 되기 위해 R&D 역량을 집중하고 있는 인지컨트롤스의 생생한 목소리를 김홍집 대표와의 인터뷰를 통해 소개한다.



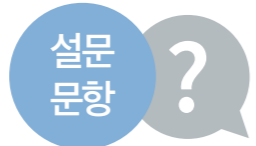


모빌리티 인사이트 독자 후기 설문에 참여해주세요!

격월간 <모빌리티 인사이트>는 미래 모빌리티 핵심기술 개발 이외에도 정책 연구와 기업 지원 등을 확대하여 우리 자동차산업이 급변하는 산업 패러다임의 변화에 선제적으로 대응할 수 있는 기반을 마련하기 위한 자동차산업 정보지입니다. 모빌리티인사이트는 한국자동차연구원 홈페이지(www.katech.re.kr)를 통해서도 보실 수 있습니다.

모빌리티 인사이트에서는 독자 설문 이벤트를 통해 참여해 주신 독자 30명을 선정하여 <모빌리티 인사이트>에서 준비한 소중한 선물의 드립니다. 독자 여러분의 다양하고 솔직한 의견이 발전에 큰 힘이 됩니다. 많은 참여 부탁드립니다.

- 참여 기간 : 2023년 6월 30일 부터 ~ 8월 18일까지
- 참여 방법 : 온라인 설문
- 참여 대상 : 모빌리티 인사이트 독자 누구나
- 당첨자 선정 및 발표 : 무작위 랜덤 추첨, 당첨자 개별 공지 예정 (경품은 8월 25일 일괄 발송 예정/ 관련문의 02-2661-6786)
- 응모 방법 : 1. 우측 상단의 QR코드를 이용해 모빌리티인사이트 독자 설문 이벤트 접속 (온라인 : <https://url.kr/6dketn>)
2. 간단한 개인정보 입력(경품배송정보로 활용)
3. 설문조사 문항을 읽고 설문 작성



1. 자동차 관련 정보나 지식을 주로 어디서 습득하십니까? (중복 선택 가능)
 - 온라인 뉴스
 - 자동차 전문 매거진
 - 기타(카페/블로그 등)
 - 컨퍼런스 세미나 등 행사 참석
 - 주변 자동차 업계 지인
2. 미래 모빌리티 산업으로의 패러다임 전환에 따라 본인이 평소 가장 관심을 갖는 분야를 선택 바랍니다 (중복 선택 가능)
 - 자율주행
 - 도심형 항공모빌리티(UAM)
 - 기타
 - 친환경 차량(전기차, 수소차 등)
 - 컨넥티비티 & 인포테인먼트
3. 한국자동차연구원이 출간하는 [모빌리티 인사이트]는 구독자에게 원내 R&D 기술에 대한 다양한 정보를 제공하고자 노력하고 있습니다. 내용 습득에 있어, 이해도 수준은 어떻게 생각하십니까?
 - 이해가 잘 된다
 - 어려운 내용이 많아 이해하기 어렵다
 - 보통이다
 - 기타
4. [모빌리티 인사이트]가 자동차 산업의 방향을 제시하는데 있어 유용한 정보 채널이 될 것이라고 생각하십니까?
 - 매우 그렇다
 - 그렇다
 - 아니다
 - 기타
 - 보통이다
5. [모빌리티 인사이트]에 추가적으로 바라는 점을 자유롭게 작성 부탁드립니다.

모빌리티인사이트 04월호 독자의견

최승훈님
좋은 정보 감사합니다. 회사에서 우연히 접하고 보게 되었는데 좋은 기사가 많네요. 그런데 자동차관련 통계 정보가 보는 곳 마다 좀 달라서 정확한 통계 정보를 주제에 맞춰 기사로 만들면 어떨지 건의드립니다.

김정안님
여러 가지로 유용하게 보고 있습니다. 조금 난해할 수 있는데 어렵더라도 심도 있는 특정 기술을 기사화하는 것도 좋을 것 같고 특히 해외 기술사례들을 찾기 어려운데 이런 기사들을 다룬다면 아주 유용할 것 같습니다.

민원식님
모빌리티 인사이트 재미있게 잘 읽고 있습니다. 산업 동향에 대한 지표 등의 데이터 활용을 늘려주시면 감사하겠습니다.


정동일님
자율주행때문에 학회나 세미나 준비로 여러 자료를 찾아보았는데, 모빌리티 인사이트의 내용을 참고하여 이해가 빠르게 되었습니다. 앞으로는 자율주행 뿐만 아니라 자동차 소재 쪽으로도 자세히 다뤄주시면 감사하겠습니다.

대한민국 기술혁신이 시작되고 뻗어나가는 곳, 혁신의 플랫폼 KIAT가 우리 산학연을 응원합니다.

우리가 산업기술 강국이 되기까지 걸어온 길에는 많은 기업, 대학, 연구소의 땀이 스며 있습니다.

기술혁신을 위한 산학연의 노력이 더 나은 삶으로 이어지도록 한국산업기술진흥원이 뒷받침하겠습니다.





국내 자동차 산업의
지속적인 혁신과
성장 동력 발굴을 위한
미래기술 개발 역량 강화에
앞장서겠습니다.
한국자동차연구원



모빌리티 인사이트 06월호

www.katech.re.kr

발행인 : 나승식

발행처 : 한국자동차연구원

충청남도 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303

TEL_041.559.3114 / FAX_041.559.3068

편집/디자인 : 브랜드캐스트(주) TEL_02.2661.6786

※ 본 「모빌리티 인사이트」에 실린 보고서는 연구진이나 집필자의 개인적인 견해이므로 한국자동차연구원의 공식적인 의견이 아님을 말씀드립니다.

Copyright(c) 2023 KATECH(Korea Automotive Technology Institute) All right reserved.