

산업분석 Vol. 120

산업정책연구소

수소 모빌리티의 개화를 돕는 암모니아

양재완 책임연구원
이호중 책임연구원

KATECH Insight

- ◆ 수소 모빌리티 보급 확대를 위해 에너지 전달체인 수소 자체의 저장·수송이 관건이 되는 가운데, 최근 암모니아가 수소의 저장·운송을 개선할 수 있는 유력한 수단으로 부상하고 있음
- ◆ 특히 암모니아 열분해 장치와 수소 연료전지를 패키징한 시스템은 대형 상용차·선박·항공기 등에 활용 잠재력이 높으므로, 암모니아 활용의 기술적·경제적 허들을 낮추는 노력이 필요함

» 수소 모빌리티의 보급 확대를 위해서는 에너지 전달체인 수소 자체의 저장·운송이 관건

- 수소는 높은 질량 에너지 밀도를 가진 청정 에너지원으로 연료전지나 내연기관 등을 통해 구동력을 발생시킬 수 있어 자동차, 기차, 선박, 항공기 등 다양한 모빌리티 분야에 적용하려는 시도가 늘고 있음
 - * 질량 기준으로 수소 에너지 밀도는 120MJ/kg에 달하며, 이는 리튬이온 배터리(1~2MJ/kg 내외)의 수십 배, 가솔린·디젤(45MJ/kg 내외) 등 화석연료의 2~3배에 해당함
- 다만 수소 모빌리티의 상용화를 위해서는 수소 생산 이외에도 저장, 운송, 충전 과정이 요구되므로 관련 인프라를 확대하여 산업 선순환을 달성하는 것이 당면 과제
 - 현실적으로는 수소의 높은 가치에도 불구하고 수소를 일상적으로 공급·활용하기 위한 인프라가 부족한 관계로 경제성 확보가 지연되고 있으며 이는 수소 모빌리티 보급을 제한하는 요인이 되어 왔음

» 그 가운데 최근 암모니아(NH₃)가 수소의 저장·운송을 개선할 수 있는 유력한 수단으로 부상

- 암모니아는 산업 전반에 흔히 사용되는 화합물로 그 자체로 완전한 친환경 물질이라고 볼 수 없으나 고온 열분해(Cracking)를 거치면 해로운 부산물 없이 수소로 탈바꿈하는 잠재력을 보유
 - 암모니아는 비료·요소수 등에 100년 이상 활용된 무기화합물로 연간 약 1.5억 톤(Statista, '22년)이 생산되며, 질소(N)와 수소(H) 원자로만 구성되어 연소 시 이산화탄소(CO₂) 대신 일부 질소 산화물만을 배출함
 - 암모니아는 약 650°C의 고온에서 수소(H₂)와 질소(N₂)로 열분해되며, 이 분자들은 이(二)원자분자로서 온실 가스의 특성을 갖지 않아 기후 변화를 유발하지 않음
- 또한 체적 에너지 밀도가 높아 저장·수송이 용이하고 기 보급된 인프라를 활용할 수 있는 이점도 존재
 - 수소와 비교 시 암모니아는 질량 에너지 밀도는 상대적으로 낮으나 체적(부피) 에너지 밀도는 오히려 더 높고 액화가 용이*하여 선박·차량 등을 통해 더 많은 양의 에너지를 한 번에 수송할 수 있다는 강점이 있음
 - * 암모니아는 액체가 기체로 변하는 비등점이 -33.5°C로 LPG(-42°C)보다도 높고, 상온에서도 약 10atm의 압력을 가하면 액화되는 반면에 수소는 비등점이 -253°C로 극저온에서만 액화가 가능하다는 차이가 있음
 - '21년 기준 전 세계 64개국 490개의 시설에서 암모니아가 생산되고, 120개 이상의 항구에 암모니아 터미널이 구축되어 있어 암모니아 생산 및 국가 간 수송을 위한 인프라가 상당히 갖추어진 상태임 (Ampower 외)

■ 암모니아와 수소의 특성 비교(左) 및 Amogy의 암모니아 기반 수소연료전지 트럭 실증 차량(右) ■

구분	암모니아	수소
분자식	NH ₃	H ₂
비등점	-33.5℃	-253℃
발화점	651℃	535℃
질량 에너지 밀도	18.9MJ/kg	120MJ/kg
체적 에너지 밀도	12.7MJ/L	8.5MJ/L



* 출처: 한국에너지기술연구원, Ammonia as a Marine Fuel(by NTU), Amogy ** 체적 에너지 밀도는 액화 시 기준

» 일부 기업은 암모니아 열분해 장치와 연료전지를 패키징하여 모빌리티 등에 적용 개시

- 최근 Amogy 등 일부 기업들은 암모니아의 장점에 착안하여 수소의 저장·수송은 암모니아를 활용하되, 현장(on-site)에서 암모니아를 열분해하여 수소를 추출한 후 연료전지를 작동시키는 시스템을 개발
 - 미국 스타트업인 Amogy는 암모니아 열분해 장치와 수소연료전지를 패키징하여 UAV, 트랙터, 트럭* 등에 적용 가능성을 입증하였으며, 최근에는 '23.4Q 목표로 암모니아 기반 선박용 수소연료전지 파워팩을 개발 중
 - * '21년 5kW급(UAV), '22년 100kW급(트랙터), '23년 300kW급(트럭) 실증 완료 후 최근 선박용 1MW급 개발 중
 - 이스라엘 기업인 Gencell은 액상 암모니아를 활용하는 저온 알칼리 연료전지(Alkaline Fuel Cell)를 통해 원하는 장소에서 바로 전력을 생산하고 산업용 디젤 엔진을 대체하기 위한 사업을 전개 중

» 배터리에 전적으로 의존할 수 없는 다양한 모빌리티 분야에서 활용 가능성이 높음

- 암모니아 기반 수소연료전지 기술이 상용화될 경우, 구동 배터리 충전에 긴 시간이 요구되는 상용차나 무거운 배터리 탑재가 여의치 않은 선박·항공 분야의 친환경화를 빠르게 달성할 수 있음
 - 최근 Tesla의 Semi 등 배터리 기반 대형 상용차는 그 가능성에도 불구하고 긴 충전 시간이 시장 수용성을 저해할 가능성이 있고, 선박·항공기 등도 중량 문제로 배터리에 전적으로 의존하기에는 현실성이 부족함
 - 체적 에너지 밀도가 높은 액상 암모니아를 상용차, 선박, 항공기 등에 실어 연료전지를 거쳐 전기 구동할 경우, 충전 시간을 단축할 수 있고 배터리 중량 증가에 따른 에너지 효율 감소도 최소화할 수 있음
- 한편, 암모니아를 연료전지가 아닌 내연기관에 활용하는 기술은 완전히 친환경적인 대안은 아니나 이산화탄소 배출 저감 가능성이 있으므로 장기적인 로드맵 하에서 모빌리티 활용 가능성이 있음
 - * 中 광저우차(GAC)는 '23년 액상 암모니아 기반 승용차용 엔진을 개발하였고 HD현대중공업 등은 선박용 암모니아 엔진을 개발 중인데, 이러한 엔진에서 배출되는 질소계 오염물질은 촉매 등으로 제어될 수 있음

» 수소 모빌리티의 개화를 돕는 암모니아 활용의 기술적·경제적 허들을 낮추는 노력이 필요

- 현 단계에서는 암모니아 위해성* 문제 해결을 통한 소비자 수용성 제고, 암모니아 기반 수소 연료전지 상용화 연구**, 암모니아와 유사한 역할을 하는 액상유기수소운반체(LOHC) 연구 등이 요구됨
 - * 고농도 암모니아는 인체 접촉 시 피해를 유발할 수 있고 인화성이 높아 안전 조치가 요구됨
 - ** 충전 등의 과정에서 암모니아 유출을 방지하는 기술, 암모니아와 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)의 상호 작용 연구, 암모니아에 대해 내식성을 가지는 소재 연구 등
- 암모니아-수소 관련 산업이 규모의 경제를 확보할 수 있도록 다양한 응용처를 발굴*하는 것도 필요함
 - * 암모니아와 수소연료전지를 연계한 분산형 지역 발전 시스템, 가정·건물 내 비상 전원 시스템 등

*본 원고는 한국자동차연구원의 공식적인 입장이 아닌 저자 개인의 견해를 반영하고 있습니다.