

유럽 친환경 수소자동차 기술개발 현황

RT & D Process States of Environmentally Friendly Hydrogen Vehicle in Europe



이진욱 • 송실대학교
Jin Wook Lee • Soongsil University

1. 서론

친환경 자동차의 중요한 그린동력원으로써, 현재 시장에 진출한 하이브리드 자동차와 클린 디젤 자동차는 각각 일본과 유럽의 자동차 제작사별로, 기존에 보유하고 있는 전통적 내연기관 기술력과 전략을 강점화한 특징이 있다. 일본 자동차 제작사의 경우, 고유가 시대의 지속전망과 궁극적 목표인 전기자동차에 대한 기술개발 지연과 현재의 한계점(충전시간, 주행거리, 최고속도 등)인식을 바탕으로 외부 충전이 불필요한 저용량의 배터리 사용으로 차량 경량화, 저연비 그리고 이산화탄소 배출량 저감을 위해서 하이브리드 자동차 기술을 선도하고 있다. 즉, 환경, 안전, 편리성 등을 목표로 지난 80년 동안의 자동차 개발경험을 통해 많은 기술적 발전을 달성한 휘발유 내연기관과 전기 모터를 동력원으로 사용하여 이들을 효율적으로 조합해서 작동시키는 하이브리드 시스템 개발에 주력하고 있다. 반면에 유럽 자동차 제작사들은 현실적으로 기술개발이 가능한 디젤엔진에 기술적 역량을 집

중하여, 이를 유럽 승용차 시장 전체의 약 60%가 넘는 점유율을 가질 정도로 친환경 클린 엔진 수준으로 발전시켜 현재 급속도로 보급하고 있는 실정이다. 아울러서 가솔린 엔진보다 연료 효율이 더 좋은 디젤엔진을 결합한 하이브리드 자동차 개발도 진행하고 있다.

이러한 현재의 대표적인 친환경 자동차 기술개발 상황과 함께 공통적으로 면밀히 대응하고 있는 사항이 있는데, 다름이 아니라 이는 향후 미래 친환경 자동차의 중심이 될 수소자동차에 대한 것이다. 왜냐하면 하이브리드 자동차와 클린 디젤 자동차의 경우, 유한한 화석연료를 주된 동력에너지원으로 사용하기 때문에, 이들이 향후 지속적으로 친환경적인 미래형 자동차로 발전되기에는 한계가 있기 때문이다.

〈표 1〉은 상기 언급한 내용을 보다 자세히 구분해서 나타낸 주요 친환경 그린카 종류이다. 클린 디젤 자동차, 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차, 수소연료전지 자동차, 전기자동차는 무·저공해 자동차로 분류될 수 있으며, 또한 미래 에너지원 및 환경오염 저감을

위한 천연가스, 바이오연료 그리고 수소(내연기관용)은 분명 저탄소 배출 자동차의 주된 연료임을 알 수 있다. <표 2>는 이들 그린카에 대하여 주요 인자별(구매비용, 운영비교, 이산화탄소 절감, 인프라 구축, 운전 편의성, 시장성숙시기)로 비교 분석한 것이다. 클린 디젤 자동차, 하이브리드 자동차, 천연가스 자동차 그리고 제 1세대 바이오연료(식량자원 이용) 자동차를 통해 그린카 시장이 전개되면서 점차, 플러그인 하이브리드 자동차와 전기자동차 그리고 수소 연료전지 자동차 순으로 친환경 자동차 시장이 본격적으로 성숙될 것으로 전망하고 있음을 알 수 있다.

이러한 맥락에서 볼 때, 현재의 친환경자동차 개발은 전기 및 수소 연료전지 자동차의 개발을 진행하면서, 동시에 중간 교두보로 하이브리드 자동차(가솔린엔진+전기모터 또는 디젤엔진+전기모터)기술과 클린 디젤엔진, 청정연료 특히 수소 엔진과 같은 내연기관 효율화 및 청정화 기술에 중점을 두면서 진행되고 있다. 따라서 본 고에서는 유럽에서 수소연료를 사용하는 대표적 친환경 자동차의 주요 개발현황들과 함께 유럽의 수소 연료전지 버스 실증을 위한 CUTE(Clean Urban Transport for Europe) 프로젝트 성과들에 대하여 간략히 살펴보고자 한다.

<표 1> 주요 친환경 그린카 종류

자동차 구동에 있어서 엔진 효율을 높이는 자동차	
클린 디젤 자동차	가솔린 차량보다 효율이 높은 디젤 차량의 장점을 살려 기존 문제점이었던 미세 먼지, 질소산화물 등의 배출가스를 현저하게 줄인 자동차
하이브리드 자동차	구동 시 내연기관과 전기모터를 같이 이용하는 자동차, 주행의 상태에 따라 두 동력장치를 적절히 작동시켜 연비를 향상시킴
플러그인 하이브리드 자동차	내연기관과 전기모터를 같이 이용하지만, 가정용 전기로 충전할 수 있는 배터리를 장착하여 단거리 주행 시 전기모터로만 구동하는 자동차
수소 연료전지 자동차	탱크에 저장된 수소를 산소와 반응시켜 생산한 전기로 전기모터를 작동시키는 자동차
전기 자동차	순수하게 배터리의 힘으로만 움직이는 자동차
이산화탄소 또는 매연의 배출이 적은 연료를 사용하는 자동차	
CNG	Compressed Natural Gas, 압축 천연가스
1세대 바이오연료	곡물 및 사탕수수를 통해 생산하는 바이오 에탄올, 유채류를 통해 생산하는 바이오 디젤
2세대 바이오연료	비식용 작물인 목질계 섬유소를 통해 생산하는 바이오연료
수소 내연기관	수소를 내연기관에 직분사하여 연소시킴

(출처 : 산업연구원 자료)

<표 2> 주요 인자별 그린카 비교 분석

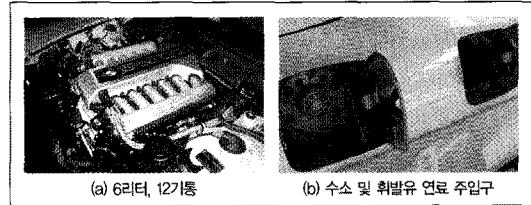
	구매비용	운영비용	이산화탄소 절감	인프라 구축	운전편이 (장거리+고속)	시장성숙시기
하이브리드 자동차	--	+	+	○	-	지금 가능
플러그인 하이브리드 자동차	--	+	+	-	-	2010~2011년부터
전기자동차 (신재생에너지*)	---	+++	+++	--	--	2010~2011년부터
CNG	-	+	+	-	-	지금 가능
1세대 바이오연료	○	+	+	-	○	지금 가능
2세대 바이오연료	○	-	++	-	○	2015년 이전 불가능
수소 연료전지 자동차 (화석에너지**)	---	-	---	---	○	2020년 이전 불가능
수소 연료전지 자동차 (신재생에너지*)	---	--	+++	---	○	2020년 이전 불가능
클린 디젤 자동차	○	+	+	○	○	지금 가능

*태양에너지, 풍력, 수력 등을 통해 전기 및 수소를 생산 **천연가스 등의 화석연료에서 수소를 생산 (+) 현재보다 좋음 (-) 현재보다 나쁨 (○) 현재와 차이 없음

(출처 : LG Business Insight, 2009년)

2. 유럽 친환경 수소연료 사용 자동차 개발현황

2008년 유럽의회는 고유가와 기후변화에 능동적으로 대처하기 위해 수소자동차 지원 결의안을 채택하였다. 이의 핵심은 수소자동차의 에너지 효율 향상과 함께 향후 본격적으로 전개될 수소연료 사회를 위하여 유럽전역에 수소자동차용 충전소를 건설하고, EU 공동 기술표준 제정을 위한 것이다. 즉, EU는 앞으로 2020년까지 1990년 이산화탄소 배출량 기준으로 50%를 저감시키기 위한 수단으로, 수소자동차가 핵심 역할을 할 것으로 판단하고 있다. 현재 유럽내 수소자동차 보급은 수소인프라 구축상황에 따라 유럽지역별로 서로 큰 차이가 있다. 따라서 가장 적극적으로 인프라 설비 정비와 수소자동차 보급 정책을 추진하고 있는 독일(CEP, Clean Energy Partnership이 대표적인)을 중심으로 유럽은 수소자동차 실용화를 추진 중인데, 이를 위해 현재 초기 단계에서는 수소 연료전지 자동차보다는 수소 내연기관 자동차 개발에 역점을 두고 있다. 이는 현재 자동차의 주 동력원이며, 그 동안의 자동차 역사만큼 기술이 축적되어 있어서, 단기간 내에 상용화 할 수 있는 내연기관이 상대적인 장점을 가지고 있다고 판단하기 때문이다. 따라서 개발 성능 대비 고비용 투자가 필요한 수소 연료전지 자동차보다 현재 우선은 수소 내연기관의 실용화에 보다 적극적이다. 이의 대표적인 유럽자동차 제작사는 독일 BMW(1978년부터 시작)이다. 가장 최근의 BMW 수소 내연기관 자동차인 Hydrogen 7 <그림 1>은 기존 내연기관에 휘발유와 수소(액체상태로 저장)를 병용할 수 있는 bi-fuel 연료공급 방식을 채택하고 있다. 이를 통해 수소 인프라 한계에 능동적 대응과 주행거리 증대를 도모할 수 있어, 현재 이의 실용화에 대한 평가는 긍정적인 상황이다(표 3). 또한 BMW에서는 EU 수소 내연기관 자동차용 액화수소 수소연료 저장용기 기준을 제시하였고, 액화수소 탱크압력은 정상작동압력을 4~8기압, 2차 PRD 압력 12기압으로 제한한 상태이다.



<그림 1> BMW Hydrogen 7 (수소 내연기관 방식)

<표 3> 수소 내연기관 (Hydrogen 7)의 연료소비비율 비교

Hydrogen			Gasoline		
Energy Density (MJ/l)	l/100km	US mpg	Energy Density (MJ/l)	l/100km	US mpg
10.1	50	4.7	34.6	13.9	16.9

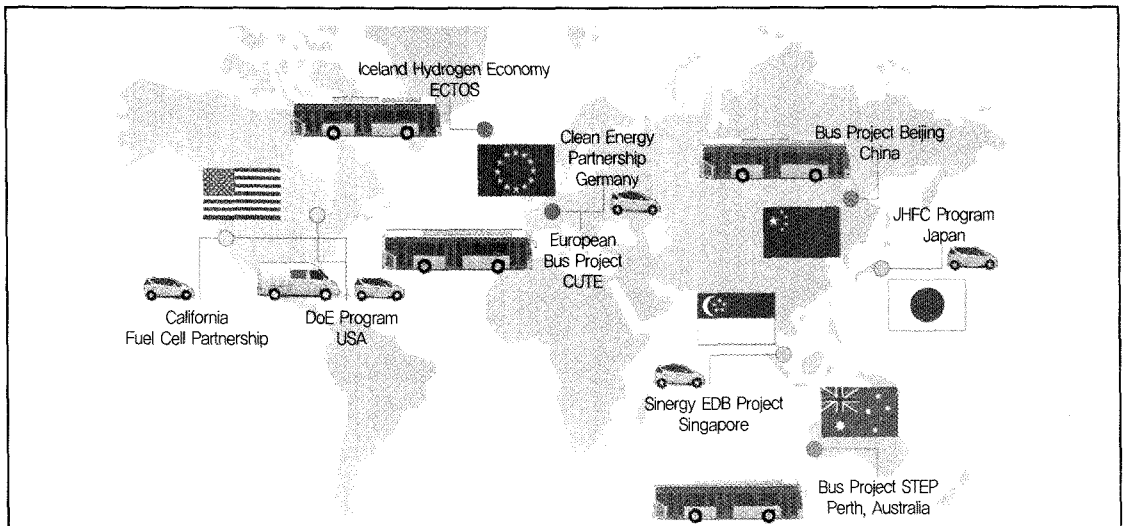
반면, 1994년부터 메르세데스-벤츠 그리고 다임러 크라이슬러를 중심으로, 또 다른 수소사용 자동차인 압축 수소 연료전지 자동차 개발을 주도하고 있다. 이 방식은 수소가 연료전지(양극, 전해질, 음극으로 구성)로 보내져 대기중의 산소와 반응시켜 이때 발생하는 전기로 동력을 얻게 되는데, 물 이외에는 어떠한 유해 배출물도 발생되지 않는 특징이 있다. 연료전지에 사용하는 전해질의 종류에 따라 크게 알칼리 전해질형 연료전지(AFC), 고체고분자형 연료전지(PEFC), 용융탄산염형 연료전지(MCFC) 그리고 고체산화물형 연료전지(SOFC)방식으로 분류된다. 수소연료를 사용하는 관점에서 볼 때, 수소 내연기관 자동차와 동일할 뿐이지, 기타 모두 기술적인 사항들에 있어서는 전기자동차로 분류할 수도 있다.

이러한 유럽의 수소자동차 개발 진행 배경으로 먼저, 수소의 생산 및 공급 문제 그리고 도심내 충전소 설치 문제 등 수소기반 교통체계의 실현방안을 집중적으로 연구한 ECTOS(Ecological City Transport System)와 유럽 주요 도시내 30여 대의 수소 연료전지 버스들을 시범적으로 도입, 운영해 보는 것을 목적으로 추진한 CUTE(Clean Urban Transport for Europe) 프로젝트의 연구 성과를 들 수 있다. 따라서 이를 바탕으로, 향후 그런가 기술에 있어서 수소에너지 활용기술이 궁극적인

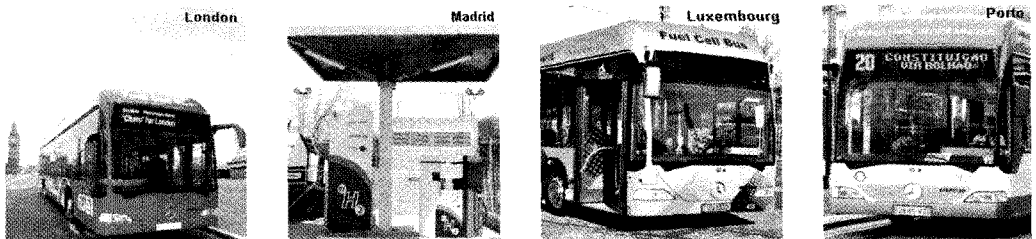
친환경 자동차 개념이 될 것으로 판단하였다. 물론 현재에는 EU 수송용 수소프로그램(Hydrogen for Transport Program)을 통해 수소연료 운송차량 실증 프로젝트(Hychain-Minitrans Project)가 진행 중에 있다. 이를 통해 2010년까지 프랑스, 독일, 스페인, 이탈리아에서 총 150대의 수소자동차, 수소버스, 수소삼륜차, 수소스쿠터, 수소자전거 등을 실증할 계획이다. 참고적으로, 이러한 유럽의 수소연료전지차량 실증 프로그램을 포함한 전 세계 실증 프로젝터를 도식적으로 함께 나타내면 <그림 2>와 같다.

이 중에서, 유럽의 CUTE(Clean Urban Transport

for Europe) 프로젝트(2001-2006)의 주요 성과에 대한 분석을 통해 주요 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 이의 목적은 수소 연료전지로 운행되는 버스의 개발과 유럽내 9개 주요 도시(암스테르담, 바르셀로나, 함부르크, 런던, 룩셈부르크, 마드리드, 뉘르푸, 스톡홀름, 슈투트가르트 : <그림 3>)에서 약 30여대 수소 연료전지 버스를 주행하면서 각 유럽 도시별 운행 상관성을 파악하고, 이를 통해 본격적인 시장 경쟁력을 가질 수 있는 수소 상용 자동차기술임을 입증함으로써, 차세대 지속 가능한 청정 수송시스템의 활로를 실질적으로 개척하고자 함이다.



<그림 2> 전 세계 수소자동차 실증 프로젝트 현황



(출처 : CUTE Project, Final Report)

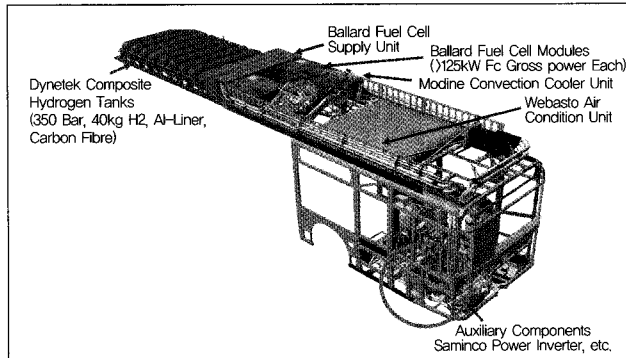
<그림 3> CUTE 프로젝터를 위한 유럽 내 주행중인 수소 연료전지 버스 및 충전소

〈그림 4〉는 수소 연료전지 버스의 주요 시스템 개략도를 나타낸 것이다. 9개의 연료탱크내 압축수소(40kg의 수소를 350bar상태로 저장)를 저장하여 이를 직접 사용함으로써, 상대적으로 시스템이 간단하고 효율이 높은 장점이 있다. 또한 차량 상단부에는 2개 연료전지 모듈(각 125kW 출력발생)과 공기 공급장치 그리고 냉각장치로 구성되어 있다. 따라서 상대적으로 높은 압력으로 공급되는 수소는 연료전지 출구부로 배출시키지 않고, 재순환이 가능한 상태(즉, 수소연료가 충분히 공급되는 상태)이기에 산화제인 공기의 양을 제어함으로써 연료전지의 출력을 제어할 수 있는 특징이 있다. 물론 이때 수소 압력과 공기 압력 및 유량제어와 함께 연료전지 스택 온도제어를 위한 냉각장치와 물 회수장치가 있다.

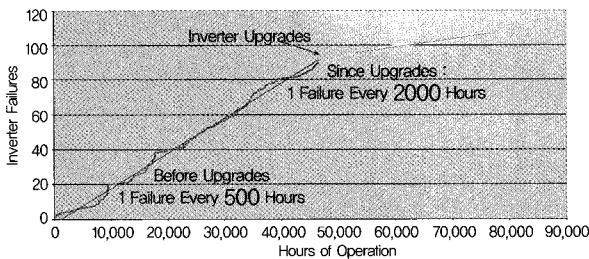
이러한 수소 연료전지에서의 부하 조절은 대개 인버터에서 이루어지는데(가속 페달의 신호에 의해 인버터 출력전원 변화), 부하 증가 시, 연료전지 공정 설비(예를 들

면, 펌프, 압축기, 밸브, 배관 그리고 물탱크와 필터, 물 회수장치 등)의 작동이 지연되어, 요구 동력을 위한 수소와 공기의 공급이 연료전지내로 즉시 이루어지지 않아 부족할 수 있다. 이러한 인버터에 내재될 수 있는 문제점이 CUTEP로젝터에서 발견되었는데, 작동시간이 지날수록 점차 해결(고온방지)하였음을 〈그림 5〉를 통해 알 수 있다.

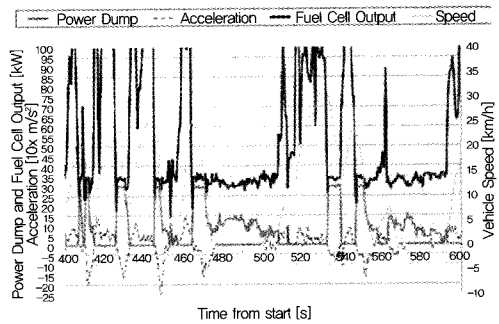
〈그림 6〉는 실제 주행 시, 임의 200초 동안 측정된 차속, 가속도, 동력dump, 연료전지 출력 그리고 시스템 효율을 함께 나타낸 것이다. 모터의 최소속도(아이들)는 600rpm으로 설정이 되어져 있는데, 왜냐하면 다수 보조 장치들이 이 모터에 의해 구동되어 짐으로 모터의 최소속도 설정은 제한 되어지기 때문이다. 따라서 이 조건 시, 측정된 동력dump 값은 15kW인데, 가속도가 음이 될 경우, 이 값은 최대 30kW에 이르게 됨을 알 수 있다. 또한 비록 전기화학효율은 저속일수록 증가하지만, 연료



〈그림 4〉 직접 수소이용 연료전지 버스 (Daimler Chrysler 개발)내 주요 시스템 개략도



〈그림 5〉 수소 연료전지 버스에 인버터 개선 추이



Speed (km/h)	Electrochemical Efficiency (%)	Fuel Cell System Efficiency (%)	Powertrain Efficiency (%)
10	66.3	31.9	26.6
20	66.1	38.5	32.8
30	65.7	42.8	36.9
40	64.9	44.9	39.1
50	64.3	47.7	41.5

〈그림 6〉 실 주행 시, 수소 연료전지 데이터 및 효율

(출처 : CUTEP Project, Final Report)

전지시스템 전체 효율로 비교해 보면 낮아진다. 이는 주로 동력(Dump)에 기인하는 것이다. 이로부터, 시속 10km 시 연료전지시스템 효율은 만약 동력(Dump)가 제거된다면, 시속 50km 시 연료전지시스템 효율과 비교될 수 있을 것으로 판단이 된다.

이상의 유럽 CUTE 프로젝트를 통해 도출된 결과는 <표 4>와 같이 요약할 수 있다. 9개 유럽 도시에서 운행된 수소 연료전지 버스의 평균 주행거리는 94,260km, 운행시간은 6,991시간, 평균 차속은 13.6km/h이다. 이를 위해 사용된 수소연료의 평균소비량은 24.6 (kg H₂/100km)으로, 이 값은 경우 81.9 (ℓ diesel/100km)에 해당된다. 그리고 실제 주행 평가를 위해 수소 연료전지 버스를 정상 가동한 평균 비율은 82.5%로써, 실제 주행거리와 비례한다. 이를 통해 지역별 서로 다른 주행조건(교통량, 대기조건, 위도 등)하에서 주어진 일정기간동안 평균 80% 이상 정상 주행함으로써 초기 신뢰성을 검증하였다.

<표 4> 유럽 CUTE 프로젝트 최종 결과

Site	Average Speed [km/h]	Average Fuel Consumption [kg/100km]	Diesel Equivalents [ℓ /100km]	Availability [%]
Amsterdam	18.1	21.6	71.8	86.3
Barcelona	12.9	27.4	91.0	60.1
Hamburg	16.2	20.4	67.8	78.7
London	13.9	24.0	79.7	88.2
Luxembourg	17.9	20.9	69.4	79.7
Madrid	13.8	28.8	95.7	79.4
Porto	8.9	30.0	99.7	80.3
Stockholm	9.7	26.6	88.4	89.9
Stuttgart	11.4	22.1	73.4	99.6
CUTE Average	13.6	24.6	81.9	82.5

(출처 : CUTE Project, Final Report)

3. 결론

원유 가격 상승으로 인한 저연비 자동차에 대한 수요 증가와 지구 온난화 등의 글로벌 환경문제(2005년 기준, 자동차·운송분야는 전 세계 이산화탄소 배출량의 약

17% 차지)에 대응하기 위하여 현재 세계 주요 자동차계 작사들은 핵심 보유기술 역량 강화에 역점을 두고 있다. 특히 유럽의 경우, 하이브리드와 클린 디젤 기술에 집중하면서도 동시에 수소 내연기관과 수소 연료전지 자동차 기술개발에 있어서도 체계적으로 광범위하게 진행하고 있다. 이는 청정도시(Clean Urban)가 되기 위한 대중교통수단으로, 수소 연료전지 버스의 개발과 보급촉진을 위한 실증 평가 프로그램(수소제조와 수소공급 인프라 구축 포함)과도 유기적으로 연관 되어져 있다. 이의 대표적인 유럽 CUTE프로젝트를 중심으로 수소 연료전지 자동차와 독일 BMW의 수소 내연기관(bi-fuel방식) 개발 현황으로 미루어 볼 때, 이들은 향후 본격적으로 상용화 될 것으로 예상되어지며, 수소 내연기관 자동차의 경우에는 수소 저장매체(고압수소탱크, 액체수소탱크, 금속 수소화물 탱크 등)에 대한 기술력을 확보한 상태에서 가격 경쟁력을 높이는 방향으로, 그리고 수소 연료전지 자동차의 경우에는 ① 구동부와 관련되는 연료전지 스택, 전동기, 수소탱크 그리고 ② 연료전지 운전시스템에 해당되는 송풍기, 공기압축기, 연료 공급장치, 습도제어장치 등, 고성능 단품설계 기술, 저온구동 기술, 소형화 및 제어 기술 고도화 연구·개발 방향으로 더욱 매진할 필요가 있다.

요약하면, 현재 전 세계 자동차 시장은 친환경과 에너지기술이 경쟁력을 좌우하는 시대에 진입하였음은 이미 주지의 사실이다. 참고로 올해 초, 삼성경제연구소(SERI)는 한국의 차세대 성장동력이 될 수 있는 6대 미래기술을 선정하였는데, 이 중에서 미래 시장성이 가장 높은 대표적인 산업으로 지능형 자동차와 친환경 자동차 산업분야를 제시한 바 있다. 이러한 맥락과 더불어서 국내에서도 확고한 정부의 친환경 그린카 개발 정책의지와 개발주체들(자동차 제작사, 부품회사, 연구소, 대학 등) 사이의 긴밀한 파트너십 구축을 통해, 수소 자동차의 상용화를 위한 기술개발 협력과 경쟁이 보다 활성화되길 바라면서, 이 글을 맺고자 한다.

(이진욱 편집위원 : immanuel@ssu.ac.kr)