

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.1.377>

JCCT 2019-2-47

무공해 자동차 기술의 현 상태와 발전방향 Study for Zero Emission Vehicle Technology : Current Status and Recent Trends

이성욱*, 박병주**

Sunguk Lee*, Byungjoo Park**

요약 심각해지는 지구 온난화와 환경오염 문제에 대응하기 위해 세계적으로 자동차 배기가스와 연료효율에 대한 규제가 강화되고 있다. 이에 선진국들을 중심으로 화석연료를 사용하지 않아 공해물질을 배출하지 않는 무공해 자동차에 관한 관심이 집중되고 있으며 시장에서는 전기자동차가 기술의 발달과 정책적인 지원에 힘입어 점점 더 많은 소비자로부터 선택을 받고 있다. 내연기관과 전기모터를 같이 사용하는 과도기적 형태인 하이브리드 전기자동차의 단계를 지나 현재는 순수 전기자동차의 판매가 대세를 이루고 있다. 최근에는 또 다른 무공해 자동차인 수소 연료전지 자동차가 관심을 끌고 있고 점점 더 보급률이 높아 질 것으로 기대 된다. 본고에서는 무공해 자동차의 기술에 대해 알아보고 현재 상태와 최근의 세계적인 동향에 대해 검토해 본다. 또한 무공해자동차의 경제성에 대해서도 분석해본다.

주요어 : 무공해 자동차, 하이브리드 전기자동차, 배터리 전기자동차, 수소 연료전지자동차, 지구온난화

Abstract To cope with severe global warming and environmental pollution problem regulations on automobile emissions and fuel efficiency has been tightened around the world. Therefore zero emission vehicles which do not use fossil fuels such as electric vehicles have attracted attention by government and both industry and academia at developed countries. In the market, electric vehicles are being selected from more and more consumers because of technological advances and policy support. Recently another zero emission vehicle, hydrogen fuel cell vehicle, is drawing attention and is expected to become deployed widely. This paper reviews technology, current status and global trends of zero emission vehicle. The economical analysis of zero emission vehicles are also presented.

Key words : Zero Emission Vehicle, Hybrid Electric Vehicle, Battery Electric Vehicle, Fuel Cell Vehicle

1. 서론

급격한 산업의 발달과 중국과 인도와 같은 개발도상국들의 눈부신 발전에 따라 화석연료의 소비는 가파르게 증가하고 있다. 이에 화석연료의 고갈뿐 아니라 화

석연료의 연소로 인한 지구온난화와 대기오염이 전 세계적인 문제로 대두되고 있다. 이산화탄소(Carbon Dioxide)로 인한 지구 온난화(Green House Effect)를 막기 위해 국제환경규약이 더욱 강화되고 있으며 선진국들을 중심으로 에너지원의 다각화와 환경문제 해결

*정회원, 한남대학교 멀티미디어공학과 (제1저자)

**정회원, 한남대학교 멀티미디어공학과 (교신저자)

접수일: 2018년 10월 15일, 수정완료일: 2018년 11월 28일

게재확정일: 2019년 1월 4일

Received: October 15, 2018 / Revised: November 28, 2018

Accepted: January 04, 2019

**Corresponding Author: bjpark@hnu.kr

Dept. of Multimedia Engineering, Hannam Univ, Korea

을 위한 친환경의 재생에너지를 이용한 전력생산에 대한 지원과 관심이 높아지고 있다.

전 세계의 이산화탄소 배출량은 전력생산을 위한 발전부분이 가장 큰 부분(약 40%)을 차지하며 운송, 교통부분이 24%, 산업계 16%의 순으로 이산화탄소를 많이 배출하고 있다[1]. 산업화된 사회에서 운송, 교통 분야의 이산화탄소 배출량 중 대부분(60%-70%)은 승용차와 작은 트럭과 같은 경량자동차(Light Duty Vehicle)에 의한 것이며 나머지 부분이 대형 화물차에 의한 것으로 파악된다[1]. 화석연료의 연소로 인한 온실가스(Green House Gas)를 줄이기 위해 태양광, 풍력 등의 신재생에너지를 이용한 전력생산에 많은 연구가 이루어지고 있으며 세계 여러 지역에서 실증단지가 운영 중이다. 운송, 교통분야에서도 이산화탄소를 줄이기 위해 전세계적으로 정부차원에서 연비 및 배출가스 규약을 강화하고 있으며 기존의 내연기관 자동차를 무공해 자동차로 대체하기 위한 많은 노력을 기울이고 있다.

세계 여러 나라 특히 유럽을 중심으로 친환경차의 보급을 앞당기기 위해 친환경자동차 보급 정책 뿐 아니라 가솔린과 디젤을 이용한 내연기관 자동차의 판매금지 정책을 발표하고 있다[2]. 네덜란드와 노르웨이는 2025년부터 가솔린과 디젤을 포함한 모든 내연기관 자동차의 판매를 금지하는 정책을 발표했으며 영국과 프랑스는 2040년부터 내연기관 자동차의 판매를 금지하는 정책을 발표했다. 인도는 2030년부터 전기자동차만 판매하는 정책을 추진 중이며 중국 또한 내연기관 자동차의 판매를 금지하는 정책을 고려중이다[2].

이러한 시대 흐름에 따라 전기자동차(Electric Vehicle, EV)는 수송수단으로 인한 환경오염과 에너지 위기를 극복하고 강화되는 연비 및 배기가스 규제에 대응할수 있는 친환경 수송수단으로 각광 받고 있다[3]. 전기자동차는 전통적인 내연기관을 사용하여 추진력을 얻는 대신 전기를 동력원으로 사용하여 화석연료의 연소로 인한 이산화탄소와 같은 온실가스의 배출이 없는 무공해 자동차(Zero Emission Vehicle)이다. 전기자동차는 화석연료를 연소하여 추진력을 얻는 내연기관 대신 전기를 사용하여 구동하는 전기모터를 사용하여 작동 된다. 이를 위해 기존의 내연기관 자동차에는 필요하지 않던 배터리, 인버터/컨버터 그리고 배터리 관리 시스템이 필요하다. 최근의 눈부신 전기자동차 기술의 발전에도 불구하고 오랜 기간 사용되고 발전되어온 내

연기관 자동차에 비해서 극복해야할 문제들이 많이 남아있다. 배터리 가격으로 인한 높은 가격, 충전인프라 확대, 짧은 주행거리, 오랜 충전 시간 등이 전기자동차의 확대에 방해물이 되고 있다. 이를 극복하기 위해 1990년대 말부터 전기자동차와 내연기관 자동차의 중간 단계인 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)가 상용화 되었고 아직도 많은 하이브리드 전기자동차가 도로위에서 주행 중이며 생산되고 있다. 하이브리드 전기자동차는 기존의 내연기관 파워 트레인에 배터리와 모터가 더해져서 연료효율성을 높여주는 저공해 자동차 이다[4]. 초창기 대량생산 전기자동차의 대부분이 하이브리드 형태였으며 배터리 및 관련 기술의 발달로 최근에는 순수 전기모터만을 사용하는 전기차가 현재 전기자동차 시장의 대부분을 차지하고 있다.

무공해 자동차인 연료전지자동차(Fuel Cell Vehicle) 또한 우리나라와 일본 미국을 중심으로 전 세계적으로 관심을 집중시키고 있다. 연료전지(Fuel Cell)는 수소(Hydrogen)와 공기 중의 산소(Oxygen)을 화학 반응시켜서 전기를 만들어내는 발전기와 같은 역할을 한다. 연료전지자동차는 연료 전지를 사용하여 발생된 전기를 사용하여 전기모터를 구동 하며 전기자동차에 사용되는 배터리와 파워 트레인을 그대로 사용이 가능하다[5]. 따라서 연료전지자동차를 수소 연료전지전기자동차(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)라고 부르며 수소연료전지자동차 역시 화석연료의 연소과정이 없기 때문에 공기오염물질은 전혀 발생시키지 않으며 부산물로 물(H_2O)만 발생된다. 현재까지 현대, 혼다 그리고 도요타에서 수소를 사용한 연료전지자동차를 생산하고 있다. 수소연료전지자동차는 전기자동차에 비해 연료 충전 시간이 매우 짧고 주행거리가 길지만 비싼 차량 가격과 절대적으로 부족한 수소충전 시설이 수소 연료전지자동차 보급 확대에 장애물로 작용하고 있다.

본고에서는 대표적인 무공해 자동차인 전기자동차와 최근에 급부상하고 있는 수소 연료전지자동차에 대해 알아본다. 2장에서는 하이브리드 전기자동차와 배터리 전기자동차 그리고 수소연료전지자동차의 기술에 대해 알아보고 현재 시판중인 무공해 자동차에 대해서도 언급 한다. 3장에서는 현재 무공해 자동차의 보급현황과 목표 그리고 최근의 무공해 자동차 정책에 대해서 설명 한다. 또한 내연기관 자동차와 전기자동차 그리고 수소

연료전지자동차의 경제성에 대해서도 분석한다. 마지막으로 4장 결론에서 끝을 맺는다.

II. 무공해 자동차 기술

1. 전기자동차 (Electric Vehicle)

최초의 전기자동차는 1830년대에 개발되었으며 그 당시 개발된 전기자동차 프로토타입들은 전기모터와 배터리의 제약으로 인해 상용화에는 적합하지 않았다[4]. 1800년대 후반 직류(DC) 전기 모터와 재충전이 가능한 배터리 기술의 발달로 1900년대 초기에 많은 전기자동차들이 생산되었다. 최초의 하이브리드 전기자동차도 이 당시에 독일의 페르디난디 포르쉐에 의해 개발되었으며 내연기관의 도움 없이 배터리만으로 약 40 마일 정도 주행이 가능하였다[5]. 하지만 1908년 기술된 내연기관을 이용한 헨리포드의 포드 모델 T의 시장 출시와 배터리의 제약으로 인해 1935년 이후에는 전기자동차는 시장에서 거의 자취를 감추었다[6]. 1970년대 오일 쇼크로 인한 원유가의 폭등과 심각해지는 환경오염에 대한 인식으로 전기자동차에 대한 관심이 집중되었으며 1997년 일본에서 최초의 현대적인 하이브리드 전기자동차 프리우스(Prius)가 도요타자동차에 의해서 시장에 선을 보였다[6].

전기자동차는 전기모터와 내연 기관을 혼용하는 하이브리드 전기자동차와 전기모터만을 사용하는 순수 전기 자동차 (Full Electric Vehicle)로 구분된다[3]. 모든 순수 전기자동차들이 동력원인 전기를 저장하기 위해 배터리를 사용하므로 일반적으로 배터리 전기자동차 (Battery Electric Vehicle, BEV)로 불리고 있다. 또한 배터리 충전을 위한 외부 전력시스템과의 연결 여부에 따라 플러그인 하이브리드 전기자동차 (Plug-In HEV)와 플러그인 배터리 전기자동차(Plug-In BEV)로 구분된다.

1.1 하이브리드 전기자동차 (Hybrid Electric Vehicle)

하이브리드 전기자동차는 화석연료를 사용하는 내연기관과 전기를 이용하는 전기모터의 조합으로 구동에 필요한 동력을 얻는다. 이러한 구성은 기존의 내연기관 자동차와 배터리 전기자동차의 한계를 해결하기 위한 것으로 높은 효율의 전기에너지를 사용하는 모터와 낮은 효율의 내연기관을 같이 운용하여 내연기관을 단독으로 사용할 때 보다 더 긴 주행거리와 높은 연료효율

을 얻을 수 있다. 또한 배터리 전기자동차에 비해 더 긴 주행 거리를 가지며 작은 크기의 전기모터와 배터리를 사용하여 무게를 줄이고 가격을 낮출 수 있다[7].

플러그인 유형이 아닌 일반적인 하이브리드 전기자동차는 내연기관이 발전기를 작동하여 배터리를 충전한다. 또한 회생제동(regenerating braking) 이나 초과되는 에너지를 사용하여 배터리를 충전한다. 플러그인 하이브리드 자동차는 외부 전력망으로부터 전력을 공급받아 내장된 배터리를 충전할 수 있다[6].

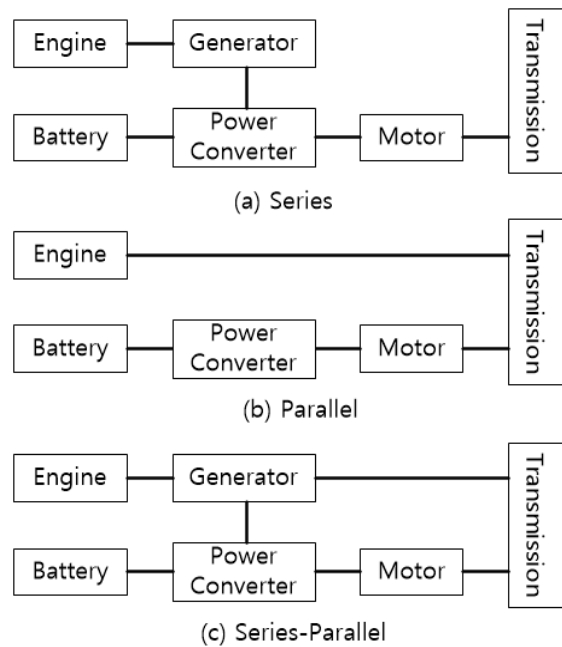


그림 1. 하이브리드 전기자동차의 파워 트레인
 Figure 1 Power train of Hybrid Electric Vehicle.

일반적인 플러그인 하이브리드 전기자동차와 하이브리드 전기자동차는 직렬, 병렬, 직렬-병렬 방식의 3가지 종류의 구동체계 구성을 가진다[7]. 그림1 은 하이브리드 방식 전기자동차의 구동체계구성을 보여준다.

직렬 하이브리드 전기자동차는 가솔린이나 디젤을 사용하는 내연기관의 출력이 발전기로 전달되고 여기서 생산된 전기로 배터리를 충전하여 모터를 작동시켜 구동하는 방식이다. 이 방식은 전기모터가 내연기관을 도와주는 방식으로 주행거리를 늘리고 연료 효율을 높이기 위해 사용되었다. 이 방식은 하이브리드 전기자동차 방식중 가장단순한 방식이나 효율이 낮은 편이다. 이 방식은 기존의 내연기관 자동차에 비하여 약 25% 정도의 효율향상을 기대 할 수 있으며 자주 정지하고

출발하는 주행 패턴에 유리하다고 알려져 있다[8]. 미국 쉐보레사의 볼트 (Chevrolet Volt)가 직렬 하이브리드 방식을 사용한 자동차이다.

병렬 하이브리드 전기자동차는 내연기관과 전기모터가 모두 힘을 바퀴로 전달하는 방식으로 내연기관 단독이나 전기모터 단독 혹은 내연기관과 전기모터를 모두 사용하여 차량을 구동 시킬 수 있다. 모터가 힘을 구동축에 전달하지 않을 때는 배터리를 충전시키는 발전기로 사용된다. 직렬 하이브리드 전기자동차에 비해서 소형의 내연기관과 전기모터를 사용 할 수 있다. 병렬방식의 사용하는 하이브리드 전기차는 기존의 내연기관 차량에 비해 약 40% 정도의 효율을 향상 시킬 수 있다 [8]. 혼다의 인사이트(Honda Insight) 와 포드 이스케이프(Ford Escape)가 이 방식을 사용하였다.

직렬-병렬 하이브리드 전기자동차는 직렬과 병렬형태를 모두 가진 하이브리드 자동차로 내연기관과 전기모터가 모두 구동축으로 힘을 전달한다. 이형태의 하이브리드 전기자동차는 직렬 형태나 병렬 형태로 선택하여 주행할 수 있어 직렬 병렬 형태의 장점을 모두 가지지만 시스템이 복잡해지고 가격이 상승하는 단점이 있다. 도요타 프리우스 (Toyota Prius)가 이 방식을 사용한다. 플러그인 하이브리드 자동차도 일반 하이브리드 자동차와 같은 형태를 가지며 배터리를 충전할 수 있는 별도의 충전기를 통해 외부의 전력망으로부터 충전을 할 수 있다. 따라서 일반 하이브리드 전기차보다 큰 배터리팩을 가지며 더 오랜 시간동안 전기 모터만으로 주행을 할 수 있다. 플러그인 하이브리드 전기자동차는 일반 전기자동차에 비해 온실가스는 35%-65% 가 절감되고 가솔린 소비는 40%-80% 정도 줄어든다[9].

1.2 배터리 전기자동차 (Battery Electric Vehicle)

배터리 전기자동차는 내연기관의 도움 없이 전기모터만으로 구동하는 자동차로 배터리를 전력원으로 사용한다. 따라서 공해물질을 전혀 배출하지 않으며 효율이 높고 조용하고 부드럽게 주행한다. 그림 2.는 배터리 전기자동차의 파워트레인 구성을 보여준다.

배터리 전기자동차는 배터리만을 전력원으로 사용하기 때문에 큰 배터리팩을 사용해야 하며 주행거리는 전적으로 이 배터리의 크기에 좌우된다. 따라서 장거리 주행에는 적합하지 않고 도심지 주행에 적합하다. 대부분의 배터리전기자동차는 외부 전력망을 통해서 배터리를 충전하는 플러그인 배터리 전기자동차이다. 표 1

에 배터리 전기자동차의 배터리 용량과 주행거리가 기술되어 있다 [10,11,12].

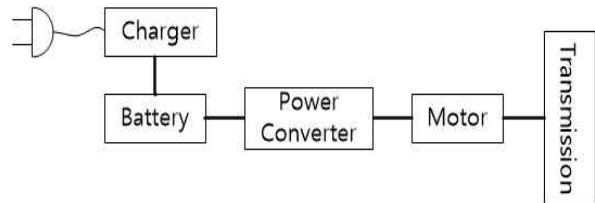


그림 2. 플러그인 배터리 전기자동차의 파워트레인
Figure 2. Power train of Plug-in Battery Electric Vehicle

표 1. 배터리 전기자동차의 사양
Table 1. Specification of Battery Electric Vehicles

모델	생산 년도	주행거리 (km)	배터리 용량 (Kwh)
Tesla model3	2018	425	62
Kia Niro EV	2018	385	64
Kia Soul EV	2019	180	30
Chevrolet Bolt	2019	383	60
VW e-golf	2017	300	35.8

기아자동차의 니로 EV와 쏘울 EV를 비교해보면 배터리 용량에 따라 주행거리가 늘어남을 알 수 있다. 주행거리를 늘리기 위해서는 더 큰 용량의 배터리를 사용해야 하지만 무게와 가격 때문에 무한정 늘릴 수는 없는 실정이다. 또한 효율적인 배터리 충전을 위해 배터리 관리시스템 (Battery Management System)이 사용되고 있으며 외부전력망을 이용한 전기자동차 충전을 위해서 전용 충전장치가 필요하며 이를 위한 과금 시스템 또한 구축되어야 한다.

표 2. Chevrolet Bolt 의 충전 사양
Table 2. Charging specification of Chevrolet Bolt

충전형태	충전전력	충전시간	충전요금(한국기준)
급속 충전 (DC)	80 Kw	1시간 80% 충전가능	약 10,428원 (173.8원/Kwh)
완속 충전 (AC)	7.2 Kw	9시간45분	홈충전 : 4,287원 (전기차전용 요금 71.3원/Kwh) 외부충전: 18,780원 (313원/Kwh)

내연기관을 사용하지 않고 배터리만을 사용하는 전기자동차는 공해물질을 전혀 배출하지 않고 높은 효율성을 가지지만 높은 가격, 상대적으로 짧은 주행거리,

충전인프라 확충 그리고 오랜 충전 시간등의 문제를 해결하여야만 한다. 2019년형 쉐보레 볼트의 충전에 관한 정보가 표 2.에 설명되어 있다 [12]. 또한 전기자동차의 주행으로 인한 공해물질 배출은 없지만 충전을 위한 전기 생산에는 아직까지 상당부분 화석 연료가 사용됨으로 전기자동차가 완전한 무공해 자동차라고 말하기는 어려운 실정이다.

2. 연료전지 자동차 (Fuel Cell Vehicle)

최초의 연료 전지[14]는 1842년경 발명되었으며 프란시스 베이컨에 의해 1930년대에 알카라인 연료전지 (alkaline fuel cell) 가 발명되었다. 1959년에 15와트의 연료전지를 장착한 최초의 근대 연료전자동차가 제작되었으며 재미니와 아폴로와 같은 우주 탐사 프로그램에 사용 되었다 [5,14]. 1966년에 제너럴 모터스 (General Motors)에서 최초로 주행이 가능한 연료전지 전기차, GM Electrovan을 제작했으나 상용화 되지는 못했다[15]. 2000년대 들어서야 현대적인 수소차가 소비자들에게 선을 보였다.

연료전지 자동차는 수소를 연료로 공기중의 산소와 화학 반응하여 전기를 생산해 내는 연료전지를 사용하여 구동하는 일종의 전기자동차이다. 따라서 연료전지 전기 자동차 (Fuel Cell Electric Vehicle) 라고도 불린다. 연료전지 전기자동차는 내연기관 없이 연료전지에서 생산된 전기 사용하여 모터를 구동함으로써 오염물질의 배출이 없고 오직 물(H₂O) 만이 부산물로 배출된다. 그림3 은 수소를 사용하는 연료전지 전기자동차의 파워트레인의 구성을 보여주고 있다[16].

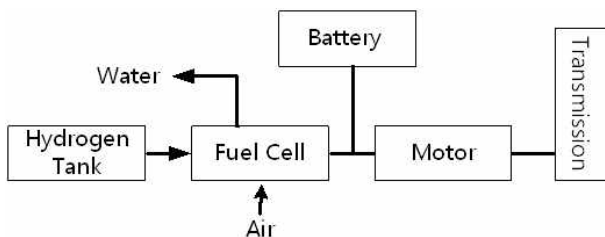


그림 3. 수소 연료전지자동차의 파워트레인
 Figure 3. Power train of Hydrogen Fuel Cell Vehicle

수소 연료전지자동차는 다음과 같은 순서대로 작동한다[17].

- 1) 탱크에 저장된 수소와 외부로부터 유입된 산소가 연료전지 스택으로 전달된다.
- 2) 연료전지 에서 수소와 산소가 화학 반응하여 전

기와 물을 만들어낸다.

- 3) 만들어진 전기는 모터로 보내어져 자동차를 구동하고 물은 배출된다.

연료전지전기자동차는 내연기관이 연료전지로 대체된 직렬-하이브리드 전기자동차와 유사한 형태를 가진다[5]. 연료전지에서 발생된 전기는 모터를 구동하고 남는 에너지는 배터리를 충전하는데 쓰인다. 표3에 수소 연료전지전기차의 사양을 비교하였다[18].

표 3. 수소 연료전지전기차 사양
 Table 3. Specification of Hydrogen Fuel Cell vehicle

모형 사양	Honda Clarity	Toyota Mirai	Hyundai Nexo
최고출력(hp)	174	154	163
수소탱크 (kg)	5.46	5	6.33
주행가능거리(km, 미국EPA 기준)	589	502	595
최대토크(kg.m)	30.6	34.2	40.1

표 3에서 보는 바와 같이 수소 연료전지전기차는 1회 충전으로 500km이상의 주행 거리를 가지고 충전 시간은 3-5분 정도 소요된다. 에너지 효율이 높으며 연료의 무게가 가볍기 때문에 소형차량에 적합한 전기자동차와 달리 버스와 같은 대형 차량에도 쓰이고 있다. 또한 제철소나 정유공장 같은 생산현장에서 생산되는 부생 수소를 사용 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 높은 차량 가격, 부족한 인프라, 높은 수소 충전소 설치비용이 해결해야할 문제이며 아직까지 전기자동차에 비해서도 판매량이 극히 미비한 실정이다.

III. 무공해 자동차의 현황 및 동향 분석

1. 무공해 자동차의 보급현황과 목표

더욱 강화되는 환경규약과 전기자동차 관련 기술의 발달 그리고 정부의 지원 정책에 힘입어 배터리 전기자동차와 플러그인 하이브리드 전기자동차의 판매대수가 2012년 11만대 판매이후 급격하게 증가하여 2015년 54만대 2017년에는 판매량이 100만대를 넘어 114만대를 기록하였다[19]. 표 4는 주요 국가의 전기자동차 판매대수 추이를 보여준다. [19].

표 4. 전기자동차 신규 판매 (천대)

Table 4. New electric vehicle sales

년도 국가	2013	2014	2015	2016	2017
중국	15.34	73.17	207.38	336	579
미국	96.70	118.78	113.87	159.62	198.35
영국	3.75	14.74	29.34	37.91	47.25
프랑스	9.62	12.64	22.95	29.51	34.78
노르웨이	8.52	19.77	33.73	44.89	62.26
일본	28.88	32.29	24.65	24.85	54.10
한국	0.60	1.31	3.19	5.26	14.71
전 세계 판매량	202.80	322.70	540.72	744.22	1,148.7

표 4 에서 보는 대로 중국이 현재 전지자동차의 가장 큰 시장이며 2017년 전기자동차 보급수가 120만대를 넘었다. 그다음으로 미국과 일본, 노르웨이 등의 국가가 큰 시장을 형성하고 있다. 표 4의 자료는 배터리 전기자동차와 플러그인 하이브리드 전기자동차의 판매량을 모두 보여주는 것으로 2017년 배터리 전기 자동차의 판매대수는 약 75만대로 배터리 전기자동차가 전체 시장의 약 65%를 차지하고 있다. 전기자동차의 시장점유율은 노르웨이가 39.2%로 가장 높으며 스웨덴 6.3%, 네덜란드 2.7% 등 EU국가들이 높은 점유율을 보여주고 있다[19]. 표.5는 2020년에서 2030년까지의 각 나라의 전기자동차의 배치목표를 정리한 것이다[19].

표 5. 세계 각국의 전기자동차 배치 목표

Table 5. Plan for Electric vehicle deployment

국가	전기자동차 배치 목표
미국	· 캘리포니아를 포함한 8개 주에서 2025년까지 전기자동차 330만대 보급 · 캘리포니아주 에서 2025년까지 150만대, 2030년까지 500만대의 무공해자동차 보급 · ZEV 프로그램 의무화 확대
중국	· 2020년까지 버스 20만대, 트럭 20만대, 승용차 480만대 총 500만대의 전기자동차 보급 · New Energy Vehicle(NEV) 규제 시행
영국	· 2020년까지 전기자동차396,000 - 431,000 대 보급
노르웨이	· 2025년까지 승용차, 경트럭, 도시형버스는 100% 전기자동차만 판매 · 2030년까지 장거리버스는 75% 트럭은 50%의 전기자동차 목표
인도	· 2030년까지 전기자동차 판매 30% 및 도시형 버스는 100% 배너리전기자동차 보급
일본	· 2030년까지 20%-30% 의 전기자동차 판매
한국	· 2020년까지 20만대의 전기승용차 보급

수소 연료전지전기자동차는 전기자동차에 비해서는 아주 미약한 판매량을 보이고 있다. 2017년까지 판매된 수소 연료전지자동차는 7200여대에 못 미치는 정도로 3500여대 이상이 미국 특히 캘리포니아주에서 판매되었으며 일본이 약 2300여대 독일과 프랑스를 포함하는 EU 국가에서 약 1200여대 정도가 운행되고 있다 [20]. 우리나라는 2017년까지 약 177대의 수소연료전지자동차가 운행 되었으나 2018년도에 약 889대로 늘어났다 [21]. 2017년도까지 판매된 수소연료전지차중 6000대 이상이 Toyota Mirai 이며 나머지 부분을 혼다와 현대자동차의 제품이 차지하고 있다 [20]. 표 6에 주요국가의 수소 연료전지자동차의 보급 계획이 나타나 있다 [20,22].

표 6. 세계 각국의 수소연료전지자동차 배치 목표

Table 6. Plan for Fuel Cell Vehicle deployment

국가	수소연료전지자동차 보급 계획
일본	· 2020년까지 4만대, 2025년까지 20만대 2030년까지 80만대 보급
미국	· 캘리포니아주에서 2020년 13,400대 2023년 37,400대 이상
영국	· 2025년 28만대, 2030년 160만대
독일	· 2025년 65만대 2030년 180만대 보급
중국	· 2020년 5천대, 2025년 5만대, 2030년 1백만대 이상
한국	· 2020년 1만대, 2030년 63만대 보급

2. 무공해 자동차 정책

세계 여러 나라 정부는 환경오염을 줄이고 친환경차의 보급을 늘리기 위해 배기가스 규제를 더욱 강화하고 지원정책을 시행하고 있다.. EU는 킬로미터당 이산화탄소배출량 기준을 승용차와 경상용차에 대해 2021년 목표 대비 2025년에 15% 2030년에 30% 저감을 목표로 기준을 강화하였다[19]. 또한 EU 여러 나라에서 내연기관 자동차의 판매를 금지하는 정책을 발표하고 있다. 미국은 CAFE(Corporative Average Fuel Economy)[23] 정책을 시행하여 미국 내 새로 생산되는 자동차의 평균연비를 제한하고 있다. 또한 캘리포니아주를 비롯한 10여개 주에서는 ZEV(Zero Emission Vehicle) [24] 프로그램이 시행되고 있다. ZEV가 시행되는 주에서는 자동차 제조업체가 전기자동차, 연료전지 전기자동차, 하이브리드 전기자동차, 고효율 내연기

관 자동차등 친환경 자동차를 판매하여 할당된 ZEV 크레딧을 얻어야 하며 이 프로그램 또한 더욱더 강화되고 확산 되어가는 추세이다. 중국도 미국의 ZEV와 유사한 NEV(New Energy Vehicle) 규제 정책을 시행하여 자동차 제조업체가 전기자동차, 수소연료전지차 등의 신에너지자동차를 생산하여 할당된 크레딧을 충족 시켜야 한다[19].

규제뿐만 아니라 무공해자동차를 구매시 보조금을 지급하거나 세금을 감면해 주는 정책도 여러 나라에서 시행중이다[25]. 표 7에 주요나라에서 시행중인 전기자동차 지원정책을 정리하였다[25,26].

표 7. 세계 각국의 전기자동차 구매지원 정책
 Table 7. Supporting policies for EV purchase

국가	전기자동차 구매지원 정책
일본	· 전기차 1대당 최대 40만엔 지원 (2017년부터)
미국	· 차량크기와 배터리 용량에 따라 2500\$-7500\$ 세금혜택
영국	· BEV 구매시 4,500파운드, PHEV구매시 2,500 파운드 지원
독일	· BEV구매시 4,500유로 PHEV구매시 300유로 지원 (20년까지 20만대 한정)
중국	· 주행거리에 따라 1.5만 - 5만 위안
한국	· BEV구매시 1,400만원, PHEV 구매시 500만원 지원 · 지역에 따라 300만원 -1200만원 추가 지원

수소전기자동차의 경우 미국에서는 전기자동차와 같이 2500\$-7500\$의 세금 감면 혜택을 받으며 캘리포니아 거주자일 경우 소득에 따라 5000\$-7000\$의 리베이트를 받을 수 있다[27]. 중국은 수소연료전지승용차 구매 시 최대 20만 위안을 지원한다[28]. 우리나라에서는 국고보조금 2,250만원 지자체 보조금 1,000만원 -1,250원이 지원된다[29].

3. 무공해 자동차 경제성 분석

현대자동차의 Nexo 수소연료전지자동차, Tucson 1.6 디젤자동차, GM 쉐보레의 Bolt EV 그리고 가솔린을 사용하는 같은 회사의 Aveo를 가지고 경제성을 분석해 보았다. 차량가격은 가솔린을 사용하는 내연기관 자동차가 가장 저렴하며 전기자동차 그리고 수소 연료전지 자동차 순으로 가격이 상승한다. 쉐보레의 Aveo는 약

2000만 원 정도로 구매가 가능하며 Bolt EV는 4,500-4,800만원으로 지원금(1350만원-1900만원)을 고려하면 약 2900만- 3450만 원 정도에 구매가 가능하다, 수소연료전지차인 현대 Nexo는 6,890만-7,220만원을 지원금을 고려하면 약 3,390만 - 3,970만원에 Nexo를 구매할 수 있으며 디젤차인 Tucson 1.6 은 2,380-3200 만 원이면 구매할 수 있다[29,30].

한 달에 25일 운행한다고 가정하고 하루에 50km, 100km, 150km 주행 시 1년간의 총 연료비용을 비교해 보았다. 가솔린은 리터당 1,500원 디젤은 리터당 1,300원 수소는 kg당 8,000원, 전기는 가정충전용 가격인 71.3원/kwh로 계산하였다.

표 8. 차량 연료비용 비교 (단위 천원)
 Table 8. Comparison of fuel cost

종류	주행거리		
	50 km	100km	150km
Chevrolet Aveo (12.2km/l)	1,844	3,689	5,533
Hyundai Tucson (16.3km/l)	1,196	2,393	3,589
Chevrolet Bolt (5.5km/Kwh)	195	389	583
Hyundai Nexo (96.2km/kg)	1,247	2,495	3,742

경제성만을 고려 할 때는 배터리 전기자동차가 월등히 우수함을 알 수 있다. 수소 연료전지자동차의 경우 현재의 수소충전 가격으로는 가솔린 자동차에 비해서는 이득이 있지만 디젤 자동차와 비교해서는 아주 주행거리가 길지 않은 이상 경제적인 이점이 없다. 일반적인 주행 거리로는 아직 까지 디젤 자동차의 경제성이 더 높다. 또한 우리나라에 수소충전소가 11개소 밖에 되지 않기 때문에 이 또한 수소 연료전지자동차로의 진입에 장벽이 되고 있다.

IV. 결론

본고에서는 전기자동차와 수소 연료전지자동차를 중심으로 무공해 자동차의 기술과 현 상태에 대해서 알아 보았다. 지구 환경문제를 해결하기 위해 세계 여러 나라에서 화석 연료를 사용하는 내연기관 자동차를 퇴역시키고 무공해자동차의 보급을 높이기 위해 환경규제를 더욱 강화하고 무공해자동차의 지원 정책을 펼치고

있다. 현재는 하이브리드 전기자동차 대신 배터리 전기자동차가 널리 보급되기 시작 했고 수소 연료전기자동차는 이제 막 성장하고 있다. 하지만 전기자동차는 짧은 주행거리 긴 충전 시간 등의 문제를 해결해야만 많은 소비자가 전기자동차의 경제적인 이득을 누릴 수 있을 것이다. 수소 연료전기자동차는 무공해 자동차이며 긴 주행거리와 짧은 충전시간의 장점을 가지고 있지만 수소충전인프라가 너무 빈약 하여 우선적으로 수소충전소가 시급히 설치되어야 할 것이다. 또한 현재의 수소 가격으로는 가솔린이나 디젤 자동차에 비해서 경제성에서도 크게 이점이 없는 상태이다. 따라서 수소 가격이 하락하고 수소 충전소가 확충이 되어야만 더 많은 소비자의 선택을 받을 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 무공해자동차들은 주행 시의 오염 물질 배출은 전혀 없으나 전기와 수소를 생성하기 위해서는 아직까지 많은 부분 화석연료에 의존하고 있다. 따라서 태양광이나 풍력 등의 신재생 에너지를 이용한 발전량이 대폭적으로 늘어나야만 진정한 무공해 자동차의 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Martion Tran, Justin D.K Bishop, David Banister, Malcom D. McCulloch, "Realizing the Electric Vehicle Revolution" Natural Climate Change, 2, pp. 328-333, 2012
- [2] KEA Brief Issues of Energy, No.174, 2017.9
- [3] Andreas Poullikkas, "Sustainable options for electric vehicle technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, pp.1277-1287, 2015
- [4] Wikipedia, Electric Vehicle https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle
- [5] C.C.Chan, "The State of the Art of Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles", Proceedings of the IEEE, Vol.95, No.4 2007
- [6] Jia Ying Young, Vigna K. Ramachandaramurthy, Kang Miao Tan, N. Mithulanathan, "A Review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, pp. 365-385, 2015
- [7] Bruno G.Pollet, Iain Staffell, Jin Lei Shang, "Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects", Electrochimica Acta, 84, pp.235-249, 2012
- [8] Tie SF, Tan CW, "A review of energy source and energy management system in electric vehicles", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 20, pp.82-102,2013
- [9] Amjad S, Neelakrishnan S, Rudramoonrthy R. "Review of design considerations and technological challenges for successful developemnet and deployment of plug in hybrid electric vehicles" Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, pp. 1104-1110, 2010
- [10] Wikipedia ,Tesla model 3 [.https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_3](https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_3)
- [11] <https://auto.naver.com/car/lineup.nhn?yearsId=125863>
- [12] <https://www.chevrolet.co.kr>
- [13] http://www.datanews.co.kr/m/m_article.html?no=99241
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell_vehicle
- [15] Eberle Ulrich, Mueller Bernd, von Helmholt Rittmar, "Fuel cell electric vehicles and hydrogen infrastructure: status 2012", Energy Environ. Sci, 5, pp.8780-8798, 2012
- [16] <http://gtsummitexpo.socialenterprises.net/program/2018presentations/NickBarilo.pdf>
- [17] <https://www.toyota-global.com/>
- [18] http://autotimes.hankyung.com/apps/news.sub_view?nkey=201802051445431
- [19] IEA, Global EV Outlook 2018
- [20] https://www.ieafuelcell.com/documents/AFC_%20TCP_survey%20status%20FCEV%202017.pdf
- [21] <http://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2019011010224222891>
- [22] Sekap Heo, Seungbin Yoon, Byoungseok Kim, Seunghoon Lee, "Trends of Diffusion and Development of Hydrogen Filling Stations and Fuel Cell Electronic Vehicles at Domestic and Overseas" Auto Journal pp.72-76, 2018
- [23] https://en.wikipedia.org/wiki/Corporate_average_fuel_economy
- [24] https://en.wikipedia.org/wiki/California_Air_Resources_Board
- [25] IEA, Global EV Outlook 2017
- [26] <http://www.etnews.com/20180913000167>
- [27] <https://www.arb.ca.gov/msprog/lct/cvrp.htm>
- [28] <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/4/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=171223>
- [29] <http://www.zdnet.co.kr/view/?no=20180316091313>
- [30] <https://www.hyundai.com/>