

기본연구보고서 12-01

전기자동차 보급의 에너지수급 영향 분석

최도영
박찬국
김수일

참여연구진

연구책임자 : 연구위원 최도영

연구참여자 : 전문연구원 박찬국

연구위원 김수일

위촉연구원 조은정

외부참여자 : 부산대학교 원두환

〈요 약〉

1. 연구의 필요성 및 목적

세계 자동차시장의 패러다임이 내연기관 자동차에서 전기자동차로 이행하고 있다. 자동차 배출가스에 대한 국제적인 환경규제 강화, 석유 자원의 고갈 가능성 증대, 고유가 지속 등이 원인이다. 자동차 수요자들은 유가 상승에 대한 부담으로 고효율 자동차에 대한 선호를 높이고 있다. 최근 우리나라에서 연비가 높은 경차와 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle: HEV), 수입 경유(클린디젤) 자동차의 판매가 두드러지게 늘고 있는 것이 이를 입증한다. 하이브리드 승용차 시장은 최근 전 세계적으로도 급신장세를 보이고 있다.

온실가스 및 대기 오염물질 배출로 인한 환경 악화 우려가 확대되고, 연료 가격이 상승하면서 선진국들은 순수 전기자동차(Electric Vehicle: EV) 및 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)에 대해 관심을 집중하고 있다. 세계적인 흐름으로 볼 때, 전기자동차는 더 이상 선택의 문제가 아니라, 국제 경제 환경과 자동차 산업의 판도를 뒤흔들 수 있는 핵심 기술로 인식되고 있다. 뿐만 아니라 효과적인 글로벌 온실가스 감축수단이자, 지속가능한 환경을 위한 필수적인 대안으로 떠오르고 있다. 미국, EU, 일본, 중국 등 세계 주요 국가들은 전기자동차 구매 보조금 지원, 세제 혜택 등의 금전적인 인센티브뿐만 아니라 주차 및 충전 편의성 부여, 차량 운행 관련 인센티브 제공 등 각종 지원책을 시행하고 있다.

국내 시장에 전기자동차의 보급이 확대될 경우, 국가 에너지 수급 및 온실가스 배출구조에는 변화가 발생할 것으로 예상된다. 전기자동차, 즉 순수 전기차(EV), 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV), 하이브리드 자동차(HEV)의 기술별 보급 상황에 따라 에너지수급 및 온실가스 배출에 미치는 영향은 다르게 나타날 것이다. 만약 하이브리드차의 보급이 확대될 경우, 추가적인 전력 수요 증가 없이 석유연료의 소비 감축이 가능하다. 그러나 전력망으로부터 전기를 충전해야 하는 전기자동차의 보급이 확산되면 수송연료 수요는 빠르게 감소하겠지만, 전력 수요 증대에 따라 발전용 에너지 수요는 더욱 늘어나게 될 것이다. 순수 전기자동차의 에너지 효율성(연비)은 내연기관 자동차보다 4배 정도 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 전기자동차의 높은 효율성에도 불구하고, 에너지수급 및 온실가스 배출에 미치는 영향은 1차에너지 수급 기준으로 평가해볼 필요가 있다. 발전부문의 전원 구성이 온실가스를 많이 배출하는 석탄 중심이며, 발전부문의 에너지전환 효율까지 낮을 경우, 전기자동차의 높은 연비에도 불구하고 1차에너지 소비와 온실가스 배출은 늘어날 수도 있기 때문이다.

전기자동차는 에너지절약, 온실가스 감축을 위한 유력한 대안으로 부상하고 있으나, 우리나라에서는 이에 대한 실증적인 연구가 거의 이루어지지 않았다. 특히, 최근에 전력수요 급증과 설비증설 제약으로 전력수급에 어려움을 겪고 있는 우리 상황에서는, 전기자동차의 장점만을 논하기 전에 전기차가 에너지수급, 특히 전력수급에 미치는 영향을 면밀히 검토할 필요가 있다. 본 연구의 목적은 전기차 보급이 우리나라 에너지수급과 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하고, 장기적인 전력수급 안정성을 평가하며, 수급안정 방안을 도출하는데 있다.

2. 주요 내용

본 연구에서는 우선적으로 우리나라 승용차 시장에 대한 장기 전망을 수행하였다. 연구 목적을 달성하기 위해서는 전기자동차가 시장에 어느 정도나 보급될 것인지를 예측해야 한다. 본 연구는 주요 선행연구들과 같이 단순히 전기차의 시장 점유율을 가정하는 방식을 채택하지 않고, 계량경제학적인 분석 방법을 적용하여 전기자동차의 종류별, 차급별 판매 점유율을 예측하였다. 전기자동차, 특히 배터리와 모터로만 구동되는 순수 전기차는 내연기관 자동차와 같이 엔진 배기량 기준으로 차급이 구분되지 않지만, 향후 다양한 배터리 용량을 가진 모델들이 개발된다고 볼 때, 다양한 차급에서 기존 내연기관 승용차를 대체하게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 분석 결과의 신뢰성을 높이기 위해 차급별로 종류별 전기자동차의 판매 점유율을 예측하였다. 이 점은 선행 연구들과 차별화되는 부분 중의 하나이다.

승용차 시장에 대한 전망은 KEEI-EGMS(KEEI Energy & Greenhouse Gas Modeling System)의 수송부문 모형을 확장·개선하여 수행하였다. 모든 전기자동차 종류를 반영하고, 차급별 차량 대체가 가능하도록 승용차 분류를 연료별, 기술별, 차급별로 확장하였다. 승용차 시장 전망은 세 가지 시나리오에 대해서 수행하였다. 첫 번째는 기준안으로서 EV, PHEV 등 충전을 필요로 하는 전기자동차 및 관련된 충전 인프라가 정부의 노력에도 불구하고 현 수준에서 더 이상 보급되지 않는 시나리오이다. 두 번째는 모든 전기자동차가 곧 상용화되어 시장에 보급되는 안으로, 정책 및 시장 환경에 따라 다시 두 가지 시나리오로 구분하였다. 보급안 I은 전기자동차 기술발전이 이루어지고, 충전 인프라 확충도 진행되나, 세제지원 등 민간부문에 대한 정부의 지원이

없는 경우를 가정하였다. 보급안Ⅱ는 민간부문에 대한 정부의 세제지원이 지속되고, 기술개발이 빠르게 진행되어 전기자동차용 배터리 가격이 현재 수준 대비 2035년에 50% 하락하며, 충전시간도 1시간에서 30분으로 단축되는 안이다. 시나리오별로 총 승용차 등록대수 전망과 기술·연료·차급별 신규 승용차 판매비중 예측 결과를 이용하여 모든 승용차 종류에 대한 신규 등록대수와 총 등록대수를 도출하였다.

2035년의 신규 등록대수 전망 결과, 시나리오Ⅱ에서는 휘발유 승용차가 15만 9천 대 정도 판매될 것으로 예상되어 가장 수요가 낮을 것으로 예상되었다(판매점유율 13.9%). 대신 순수 전기자동차의 수요가 급증하여 27만 7천 대의 수요가 발생할 것으로 예상되었는데, 이는 2035년 전체 자동차 내수 규모(가스·기타차량 제외)의 24.3%에 해당한다. 다음으로 플러그인 하이브리드 자동차(22.9%)와 하이브리드 자동차(21.0%), 경유승용차(18.0%)가 뒤를 이을 것으로 전망되었다. 시나리오Ⅱ에서의 2035년 전기자동차 총 등록대수는 700만 대 수준으로 전망되었다. 시나리오Ⅱ의 총 보급(등록)대수를 보면, 전통적인 내연기관 승용차의 보유 비율은 2010년 절대적인 수준인 99.8%에서 2035년에는 67.0%까지 하락할 것으로 예상된다. 순수 전기자동차는 2035년에 11.7%, 플러그인 하이브리드 자동차는 11.0%, 하이브리드 차는 10.6%를 점유하여 세 종류의 전기차가 엇비슷한 보급률을 기록할 전망이다. 경유승용차는 클린디젤차의 높은 연비에 대한 매력으로 인해 보유 비율이 2010년 21.2%에서 2035년 20.9%로 큰 변화는 없을 것으로 전망되었다.

전기자동차 보급이 시나리오Ⅱ의 상황으로 전개될 경우 에너지소비에 미치는 영향을 살펴보면, 최종에너지 수요는 2035년에 기준안 대

비 1.4% 감소할 전망이다. 최종에너지 수요 감소분은 전량 수송부문에서 발생하게 되는데, 2035년에 기준안 대비 총 8.8%의 수송에너지(석유류) 수요가 줄어들 것으로 전망되었다. 최종에너지원별로는 석유가 2035년에 기준안 수요보다 4.3% 감소하는 대신 전력이 1.5% 증가할 것으로 분석되었다. 2035년에 신재생에너지도 기준안 대비 0.7% 줄어드는 이유는 경유 수요 감소에 따라 경유에 일부 포함되어 있는 바이오디젤이 같은 비율로 줄어들기 때문이다.

1차에너지 기준으로 보면, 전기차 보급 시나리오Ⅱ에서 2035년에 기준안 대비 0.4%의 에너지 절약 효과(136만 TOE)가 있을 것으로 예상되었다. 에너지수요 절감률이 최종에너지 기준 보다 작게 나타나는 이유는 전력 수요 증가로 인해 에너지전환 손실량이 늘어나기 때문이다. 1차에너지 원별로 보면, 2035년에 석유가 4.2% 감소하는 반면, 기저발전원인 원자력과 석탄의 수요는 기준안 대비 각각 3.2%, 1.7% 증가할 것으로 전망되었다. 이는 전기자동차 보급에 따른 최대전력 수요 증가로 2035년에 기준안에서보다 원자력과 유연탄 설비가 더 필요하다는 것을 의미한다.

전기자동차가 보급되면, 에너지연소로 인한 우리나라 온실가스 배출도 줄어들 전망이다. 2035년 기준으로 기준안 대비 약 1.1%의 온실가스 배출 감축효과가 있을 것으로 전망되었다. 온실가스 저감효과는 1차에너지 수요 절감률(0.4%)보다는 크게 나타날 것이다. 이는 상대적으로 온실가스를 많이 배출하는 석유 수요가 크게 줄어들고, 온실가스 배출이 없는 원자력 발전량은 증가하기 때문이다. 만약, 우리나라의 전원 계획이 원자력의 역할을 일정 수준 이상으로 유지하면서 천연가스와 신재생에너지의 이용을 높이는 기조를 유지한다면, 전기자

동차 보급을 활성화하면 할수록 온실가스 배출 감축효과는 더 크게 나타날 것이다.

3. 정책 제언

전기자동차 보급 확대는 석유의존도를 낮추는 대신 전력수급 안정이라는 또 다른 과제를 우리에게 던져준다. 연구에 의하면, 기준안보다 2035년 전력 수요(판매)량은 크게 증가하지 않으나(1.5%), 전력수급에 중요한 최대 전력수요는 큰 폭으로 늘어날 전망이다. 시나리오Ⅱ에 대한 분석 결과, 스마트그리드 활용이 이루어지지 않을 경우 전기자동차로 인한 첨두부하 증가량은 2035년 기준으로 13.9GW에 달할 전망이다.

따라서 빠른 기술발전과 각국 정부의 지원정책으로 세계 자동차시장이 플러그인 하이브리드차와 순수 전기차로 급속히 이행될 경우를 대비하여 장기적 전력 수급안정 방안을 강구해야 할 필요가 있다. 이는 전력수요 급증과 발전설비 증설의 어려움으로 매년 동·하계 전력수급 안정을 최우선 과제로 다룰 수밖에 없는 우리나라의 경우 더욱 심각한 문제로 다가올 수 있다. 따라서 전기자동차 보급 촉진과 함께 장기적인 전력수급 안정방안도 마련해 나가야 한다. 우선은 전기자동차 충전수요가 여름 및 겨울철 최대부하 시간대에 집중되지 않도록 분산하는 정책이 중요하다. 이에 대한 방안으로는 ‘배터리 교환’ 사업을 활성화하는 방법이 있다. 즉, 전력수요가 낮은 시간대에 배터리를 충전해 두었다가 마치 주유소에서 연료를 보충하듯이 배터리를 교환해 주는 비즈니스 모델을 개발할 필요가 있다. 보다 장기적인 대안은 스마트그리드를 통한 전력부하 관리이다. 스마트그리드가 적극적으로

활용된다면, 시나리오Ⅱ의 경우에도 2035년의 첨두부하는 4.1GW 증가하는 데 머물 것이다. 이는 스마트그리드 활용 전 첨두부하 증가량(13.9GW)보다 약 10GW 낮은 것으로, 1GW급 원자력발전소 10기를 대체할 수 있는 용량이다. 또한, 스마트그리드의 핵심요소인 에너지 저장시스템(Energy Storage System)을 적극 활용한다면 첨두부하를 더욱 낮출 수 있다.

전기자동차 보급은 우리나라에서 분명히 에너지수요 절감과 온실가스 감축에 기여할 수 있는 대안이 될 수 있다. 향후 이 분야에 대한 보다 심도 있고 정밀한 연구가 지속되어야 하겠지만, 일부 선행연구에서 지적하고 있는 것처럼 ‘전원 구성 정책’의 향방이 매우 중요하다. 경우에 따라서는 전기자동차 보급을 통한 온실가스 배출 감축이 어려워질 수도 있다. 일본 후쿠시마 원전 사태의 영향으로 우리나라 발전원의 상당부분을 차지하고 있는 원자력 발전의 역할이 크게 축소된다면, 유연탄발전 의존도가 높고 신재생에너지 발전 비중이 낮은 우리나라에서는 EV, PHEV 등 전기자동차가 온실가스 감축을 위한 유력한 대안이 되지 못할 수도 있다. 또한 EV, PHEV는 충전 인프라 부재, 배터리 기술(성능)의 한계, 긴 충전시간과 짧은 주행거리로 인한 불편함, 높은 자동차 가격 등으로 가까운 미래에 대량으로 보급되기는 어렵다. 따라서 순수 전기자동차로 이행해가는 과정에서 상당 기간 하이브리드 승용차가 중요한 역할을 담당할 가능성이 크다. 이는 중장기적으로는 순수 전기자동차 및 배터리 기술개발을 지속 추진하되, 현실적인 대안인 하이브리드 차의 성능(배터리 기술) 향상도 매우 중요하다는 것을 시사한다. 우리나라와 같이 전력 수급에 여유가 없는 환경에서는 전력 최대수요에 영향을 미치지 않는 하이브리드차의 장점이 분

명히 존재한다. 또한 전기자동차 부문에 대한 국제협력을 강화해 나가야 한다. 일본, 미국 등 우리나라보다 전기자동차 부문에서 기술적으로 앞서 있는 국가들과 긴밀히 협력하고, 서로의 장점을 공유하면 전기자동차를 통한 에너지수요 절약 및 온실가스 배출 감축을 보다 앞당길 수 있을 것이다.

ABSTRACT

1. Research Purpose

The paradigm in the global automobile market is shifting from internal combustion engine cars to electric vehicles. There are various causes, such as strengthened international environmental regulations on automotive exhaust gases, increased possibility of depletion of oil resources, and continually high oil prices. Advanced countries are demonstrating greater interest in Electric Vehicles (EVs) and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs). Electric vehicles are no longer a choice but a necessity. They are becoming key technologies that can completely change the flow in the international economic environment and automotive industry.

Increased dissemination of electric vehicles in the Korean market is expected to trigger changes in national energy supply and demand as well as the greenhouse gas emissions. Increased dissemination of hybrid cars would enable reduced consumption of oil without additional demand for electricity. However, further dissemination of electric vehicles, which require charging through a power grid, would lead to a rise in energy demand for power generation, although there would be a further drop in transportation fuel demand. It is said that the energy efficiency of electric vehicles is approximately four times higher than that of internal combustion engine cars. However, electric

vehicles' influence on energy supply and demand as well as greenhouse gas emissions should be assessed based on primary energy supply. The key purpose of this research is to analyze the influence of dissemination of electric vehicles on Korea's energy supply and demand and greenhouse gas emissions, to evaluate long-term stability in electricity supply and demand, and to suggest some policy instruments to lower electricity peak demand.

2. Summary

The first step of this research involved making a long-term forecast on the Korean passenger car market. A couple of studies that were previously conducted adopted a simple approach where the market share of electric vehicles was assumed. Rather than applying such an approach, this research employed an econometric approach to forecast the market share of electric vehicles by type and grade. Outlooks on the passenger car market was made by expanding and improving the transport sector model of KEEI-EGMS (KEEI Energy & Greenhouse Gas Modeling System). Forecasts on the passenger car market were made for three different scenarios. The first scenario, which is the base case, assumes that there will be no further dissemination of electric vehicles that require charging, such as EVs and PHEVs, and the relevant charging infrastructure despite government efforts. The second scenario assumes that all electric vehicles will soon be commercialized and released in the market.

This scenario was broken down into two scenarios according to policies and the market. The number of newly registered vehicles and total registered vehicles was forecast for all types of passenger cars in accordance with the defined scenarios.

In Scenario II, the number of total registered electric vehicles in 2035 was forecast at around 7 million. The percentage of total registered vehicles accounted for by traditional internal-combustion engine cars is expected to drop from a whopping 99.8% in 2010 to 67.0% in 2035. The share of total registered vehicles taken up by EVs, PHEVs, and hybrid cars is expected to be 11.7%, 11.0%, 10.6%, respectively, in 2035. The three types of electric vehicles will likely record a similar dissemination rate. The percentage accounted for by diesel-powered passenger vehicles will likely indicate little change, from 21.2% in 2010 to 20.9% in 2035, attributable to high fuel efficiency of clean diesel vehicles.

The influence the dissemination of electric vehicles will have on energy consumption was examined assuming that Scenario II will become reality. Final energy demand will likely decrease 1.4% compared to the base case in 2035. The reduction in final energy demand will entirely take place in the transport sector. Transport energy (petroleum) demand is forecast to fall 8.8% compared to the base case in 2035. By final energy source, oil demand will likely decrease 4.3% but electricity demand will likely go up 1.5% compared to the base case in 2035. In terms of primary energy, it is

expected that there will be primary energy-saving effects (1.36 million TOE) of 0.4% compared to the base case in 2035 according to Scenario II, where further dissemination of electric vehicles is assumed. The decrease rate of primary energy demand is lower than that of final energy because of a rise in the amount of energy conversion loss in the power generation sector, attributable to increased electricity demand. By primary energy source, it is forecast that oil demand will drop 4.2% compared to the base case in 2035, while demand for nuclear and coal, which is based-load power, will go up 3.2% and 1.7%, respectively.

Once dissemination of electric vehicles takes place, Korea's greenhouse gas emissions from energy combustion will likely go down. It is expected that there will be greenhouse gas emission reduction effects of approximately 1.1% compared to the base case in 2035. Greenhouse gas reduction effects will be greater than the decrease rate of primary energy demand (0.4%). This is attributable to a substantial drop in demand for oil, which emits a relatively large amount of greenhouse gases, and a rise in the amount of nuclear power generation, which does not discharge greenhouse gases.

3. Policy Implications

Research results indicate that electricity demand (sales) will not substantially rise (1.5%) compared to the base case, but that there

will be a considerable increase in electricity peak demand, which is critical in the stability of electricity supply and demand. The outcome of analysis of Scenario II shows that the increase in peak load caused by electric vehicles will reach 13.9GW in 2035 if a smart grid is not used. As such, there is a need to come up with measures to stabilize electricity supply and demand in preparation for the rapid spread of EVs and PHEVs that will be enabled by rapid technological advancements and government support policies implemented in countries all across the globe. This is all the more important to Korea, a country that places the highest priority on stabilizing electricity supply and demand in the summer and winter every year due to a sharp rise in electricity demand.

What is important, first of all, is a policy that would distribute demand for charging electric vehicles so that it is not concentrated in peak load time in the summer and winter. One way would be to promote the 'battery exchange' business. In other words, there is a need to develop a business model where battery is charged in time zones when there is low electricity demand, and the battery is exchanged when there is charging demand. A longer-term approach would be to manage electricity load through a smart grid. Active use of a smart grid would mean that peak load would increase by a mere 4.1GW in 2035 even in case of Scenario II. This is approximately 10GW lower than the rise in the peak load (13.9GW) that is assumed when a smart grid is not used.

Dissemination of a great number of EVs and PHEVs in the near future seems difficult due to several reasons, including the absence of a charging infrastructure, limitations in battery technologies (performance), inconvenience caused by long charging hours and short driving distance, and high automobile prices. As such, there is a high possibility that hybrid vehicles will perform an important role in reducing greenhouse gas emissions for a considerable period. This implies that EV and battery technology development should be continually carried out, while focusing also on improving the performance of hybrid vehicles, which are a practical alternative. Moreover, international cooperation needs to be bolstered in the electric vehicle sector. Sharing electric vehicle technologies with advanced countries would enable earlier achievement of energy demand and greenhouse gas emission-reducing effects that are brought about by electric vehicles.

제 목 차 례

제1장 서론	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적 및 범위	3
제2장 세계 전기자동차 보급 현황 및 전망	7
1. 전기자동차의 정의 및 특징	7
가. 하이브리드 자동차	9
나. 플러그인 하이브리드 자동차	12
다. 순수 전기자동차	13
2. 주요국의 전기자동차 보급 계획 및 정책	17
가. 개요	17
나. 미국	19
다. 일본	21
라. EU	23
마. 중국	32
바. 우리나라	34
사. 종합 비교 및 시사점	37
3. 세계 전기자동차 보급 동향	43
4. 전기자동차 보급 시나리오 및 전망 사례	47
가. Solar & Energy 전망	47
나. HIEDGE 전망	55

다. IEA 전망	57
라. Global Data 전망	59
제3장 국내 전기자동차 시장 전망	61
1. 전망 개요 및 시나리오 설정	61
2. 승용차 등록 추이	63
가. 비사업용 승용차	63
나. 사업용 승용차	71
3. 전체 승용차 시장 전망	72
가. 방법론	72
나. 주요 전제	80
다. 승용차 시장 전망 결과(기준안)	84
4. 전기자동차 시장보급률 예측	90
가. 방법론 및 선행 연구	90
나. 자료 설명	94
다. 소비자효용함수 설정	99
라. 추정 결과	105
마. 시장 점유율 전망	114
5. 차종별 승용차 시장 전망	132
가. 시나리오별 시장 전망 및 비교	132
나. 시사점	143
제4장 전기자동차 보급의 에너지수급 및 온실가스 배출 영향	145
1. 주요 선행 연구	145

가. 해외 연구	145
나. 국내 연구	158
2. 분석 방법 및 주요 가정	163
가. 분석 방법	163
나. 주요 가정	174
3. 분석 결과	179
가. 에너지 수급 영향	179
나. 온실가스 배출 영향	188
제5장 V2G 효과 분석 및 정책 제언	189
1. V2G를 이용한 전력수요 관리 효과 분석	189
가. 스마트그리드를 통한 전력 수요 관리	189
나. 스마트그리드의 전기자동차 전력수요 관리 효과 분석	192
다. V2G 도입 장애요인	203
라. V2G 활성화 방안	207
2. 연구결과의 시사점 및 전력수급 안정 방안	208
제6장 결론	217
참고문헌	225

표 차례

<표 2-1> 전기자동차 종류	8
<표 2-2> 일본의 차종별 승용차 보급목표	21
<표 2-3> 일본 차세대 자동차 육성 6대 전략	22
<표 2-4> 중국 친환경차 발전 단계별 주요 목표	34
<표 2-5> 국내 그린카 발전 로드맵 주요 목표	35
<표 2-6> 전기자동차 개발지원 현황 및 계획	38
<표 2-7> EV·PHEV 관련 정책 비교	39
<표 2-8> 국가별 전기자동차 구매 보조금 현황 및 계획	40
<표 2-9> 국가별 전기자동차 관련 세금 감면 현황 및 계획	40
<표 2-10> 국가별 전기차 관련 기타 인센티브 현황	41
<표 2-11> 전기자동차 판매 비율	44
<표 2-12> 전기자동차 판매 현황	47
<표 2-13> 수요 요인별 가중치	49
<표 2-14> 국가별 전 세계 전기자동차 판매 전망	50
<표 2-15> 기술별 전 세계 전기자동차 판매 전망	52
<표 2-16> 우리나라 기술별 전기자동차 판매 전망	55
<표 2-17> 블루맵 시나리오의 세계 EV 및 PHEV 판매량	57
<표 3-1> 배기량별 비사업용 승용차 등록대수	64
<표 3-2> 연료별 비사업용 승용차 등록대수	67
<표 3-3> 연료별 사업용 승용차 등록대수	72
<표 3-4> 연료별 배기량별 신규 자동차 판매 비중	76
<표 3-5> 주요 전망 전제	81
<표 3-6> 비사업용 승용차 등록대수 전망	87

<표 3-7> 승용차(사업·비사업용) 등록대수 전망(기준안)	89
<표 3-8> 조사 개요	95
<표 3-9> 지역·성·연령별 표본 할당	95
<표 3-10> 속성 및 속성 수준	99
<표 3-11> 효용함수 변수	103
<표 3-12> 승용차 구입의사 분포	104
<표 3-13> 응답자 특성	105
<표 3-14> 경차 시장 효용함수 추정	106
<표 3-15> 소형차 시장 효용함수 추정	107
<표 3-16> 중형차 시장 효용함수 추정	108
<표 3-17> 대형차 시장 효용함수 추정	109
<표 3-18> 친환경차 보급시나리오 I	117
<표 3-19> 경차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)	118
<표 3-20> 경차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)	119
<표 3-21> 소형차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)	119
<표 3-22> 소형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)	120
<표 3-23> 중형차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)	121
<표 3-24> 중형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)	122
<표 3-25> 대형차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)	123
<표 3-26> 대형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)	123
<표 3-27> 하이브리드 자동차 보급지원 정책	124
<표 3-28> 전기자동차 보급지원 정책	125
<표 3-29> 경차 시장 자동차 속성(보급시나리오 II)	127
<표 3-30> 경차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 II)	128

<표 3-31> 소형차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)	129
<표 3-32> 소형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)	129
<표 3-33> 중형차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)	130
<표 3-34> 중형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)	130
<표 3-35> 대형차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)	131
<표 3-36> 대형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)	131
<표 3-37> 승용차 총 등록대수 전망(기준안)	132
<표 3-38> 2035년 승용차 신규 등록대수(보급시나리오Ⅰ)	136
<표 3-39> 승용차 총 등록대수 전망(보급시나리오Ⅰ)	137
<표 3-40> 2035년 승용차 신규 등록대수(보급시나리오Ⅱ)	140
<표 3-41> 승용차 총 등록대수 전망(보급시나리오Ⅱ)	142
<표 4-1> 우리나라 기술별 전기자동차 판매 전망 비교	175
<표 4-2> 연료별 승용차 연평균 주행거리(2010년 기준)	177
<표 4-3> 내연기관 자동차 연비(2010년 기준)	178
<표 4-4> 순수 전기자동차(EV) 연비	178
<표 4-5> 플러그인 하이브리드(PHEV, Chevrolet Volt) 연비	178
<표 4-6> 기준안 수요 전망	182
<표 4-7> 보급 시나리오Ⅰ 수요 전망	183
<표 4-8> 보급 시나리오Ⅱ 수요 전망	184
<표 4-9> 에너지수요 변화율(시나리오Ⅰ/기준안)	186
<표 4-10> 에너지수요 변화율(시나리오Ⅱ/기준안)	187
<표 4-11> 온실가스 배출 전망	188
<표 5-1> 전기자동차의 V2G를 통한 방전용량	196
<표 5-2> 전기자동차의 첨두부하 시간대 전력망 연결 비중(%)	198

그림 차례

[그림 2-1] 전기자동차 분류	8
[그림 2-2] 하이브리드 자동차의 구동 방식에 따른 구분	11
[그림 2-3] 대표적 하이브리드 승용차	11
[그림 2-4] 플러그인 하이브리드 자동차(병렬식) 구동 방식	12
[그림 2-5] Chevrolet Volt (PHEV)	13
[그림 2-6] 순수 전기자동차 구동 개념도	14
[그림 2-7] 폐차 처리된 GM의 전기차 E1	15
[그림 2-8] 국내 그린카 보급 목표	35
[그림 2-9] 업체별 전기자동차 판매실적	45
[그림 2-10] 국가별 전기자동차 판매실적	46
[그림 2-11] 국가별 전기자동차 판매 전망	50
[그림 2-12] 기술별 전기자동차 판매 전망	52
[그림 2-13] 우리나라 기술별 전기자동차 판매 전망	54
[그림 2-14] 플러그인 하이브리드차 보급 추이 및 전망	56
[그림 2-15] 전기자동차 보급 전망	56
[그림 2-16] PHEV 및 EV 연간 판매량 전망(IEA 블루맵 시나리오)	58
[그림 2-17] 경량 자동차 연간 판매량 전망(IEA 블루맵 시나리오)	58
[그림 2-18] 순수 전기자동차(EV) 판매 전망	60
[그림 3-1] 배기량별 비사업용 승용차 등록대수 추이	65
[그림 3-2] 배기량별 비사업용 승용차 보급 비중	65
[그림 3-3] 경형 승용차 등록대수 추이	66
[그림 3-4] 연료별 비사업용 승용차 보급 추이	68

[그림 3-5] 비사업용 휘발유 승용차 차급별 비중(2011년)	69
[그림 3-6] 비사업용 경유 승용차 차급별 비중(2011년)	69
[그림 3-7] 비사업용 LPG 승용차 차급별 비중(2011년)	70
[그림 3-8] 연료별 비사업용 승용차 보급 추이(기타)	71
[그림 3-9] KEEL-EGMS 비사업용 승용차 모듈의 구조 및 연산 흐름	75
[그림 3-10] GDP 전제	81
[그림 3-11] 인구 전제	82
[그림 3-12] 실질 국제유가(두바이유)	82
[그림 3-13] 주요국의 승용차 대당 인구수(2010년)	83
[그림 3-14] 주요국 자동차 보유 추이	84
[그림 3-15] 우리나라 비사업용 승용차 대당 인구수 전망	85
[그림 3-16] 비사업용 승용차 등록대수 전망	85
[그림 3-17] 연료별 비사업용 승용차 등록대수 전망	86
[그림 3-18] 사업용 승용차 등록대수	88
[그림 3-19] 승용차 종류별 · 연료별 등록대수(기준안)	89
[그림 3-20] 연비 계수 추정결과 비교	110
[그림 3-21] 주유시간 계수 추정결과 비교	111
[그림 3-22] 이산화탄소 계수 추정결과 비교	111
[그림 3-23] 자동차세 계수 추정결과 비교	112
[그림 3-24] 자동차 가격 계수 추정결과 비교	113
[그림 3-25] 승용차 차종별 등록대수(기준안)	133
[그림 3-26] 자동차 시장별 수요 비율(보급시나리오 I)	135
[그림 3-27] 승용차 차종별 등록대수(보급시나리오 I)	137
[그림 3-28] 자동차 시장별 수요 비율(보급시나리오 II)	139

[그림 3-29] 시나리오별 승용차 신규 수요 비율 변화(2035년)	141
[그림 3-30] 승용차 차종별 등록대수(보급시나리오Ⅱ)	142
[그림 4-1] 시나리오별 전기자동차 보급 전망	162
[그림 4-2] KEEI-EGMS 개략도	165
[그림 4-3] KEEI-EGMS 구조	166
[그림 4-4] 비사업용 자동차 모듈의 연산 흐름	170
[그림 4-5] 최종 및 1차에너지 절약 효과	180
[그림 4-6] 최종부문 석유 및 전력수요 변화 효과	180
[그림 5-1] 스마트그리드 활용에 따른 전기자동차 침투부하 영향	202
[그림 5-2] V2G 활용 여부에 따른 전기자동차 침투부하 영향	203

제1장 서론

1. 연구 배경 및 필요성

세계 자동차시장의 패러다임이 내연기관 자동차에서 전기자동차 등 ‘그린카’로 이행 중이다. 자동차 배출가스에 대한 국제적인 환경규제 강화, 석유 자원의 고갈 가능성 증대, 고유가 지속 등이 원인이다. 전기자동차 중 배터리로만 구동하는 순수 전기자동차(Electric Vehicle: EV) 시장은 현재 도입 단계에 있다. 온실가스 및 대기 오염물질 배출과 관련된 환경 악화에 대한 우려가 확대되고, 연료 가격이 상승하면서 많은 선진국들이 EV에 관심을 갖게 되었다.

자동차 수요자들은 유가 상승으로 인한 연료비 부담 증가로 고효율 자동차에 대한 선호를 확대하고 있다. 최근 우리나라에서 연비가 높은 경차와 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle: HEV), 수입 경유 자동차의 판매가 두드러지게 늘고 있는 것이 이를 입증한다. 하이브리드차 시장은 최근 전 세계적으로도 급신장세를 보이고 있다.

주요 선진국들은 연비 규제 강화, 그린카 개발·보급 등을 통해 수송부문의 온실가스 배출 감축 및 자동차산업의 국제 경쟁력 강화를 적극 추진하고 있다. 이러한 대·내외 환경 변화로 전기자동차 등 ‘그린카’ 개발이 세계 자동차산업의 핵심 이슈로 등장하였다. 주요국들은 녹색성장 달성을 위한 신성장 동력으로 그린카를 선택하고, 그린카 주력차종 발굴과 기술개발, 보조금 및 세제 지원 등을 통해 관련 산업 육성을 추진하고 있다. 미국은 2011년 2월에 2015년까지 100만 대의

전기자동차 보급을 목표로 하는 계획을 발표하였고, 일본은 ‘차세대 자동차전략’(2010년 4월) 수립을 통해 전기동력 자동차에 사용되는 배터리 기술개발에 향후 5년간 210억 엔(2,900억 원)을 지원할 예정이다. 독일도 2011년까지 배터리 등 기술개발 사업에 5억 유로를 지원하고, 2020년 전기차 300만 대, 연료전지차(Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV) 50만 대 이상 보급을 목표로 하고 있다.

국제에너지기구(IEA)는 전기자동차 보급 확대를 위한 중장기 로드맵을 발표하고(2011년 3월), 로드맵 비전의 달성 과정에 대한 진행상황 확인 및 정기적인 보고를 예정하고 있다. 우리나라도 그린카 발전 로드맵인 ‘세계 4강 도약을 위한 그린카 산업 발전전략 및 과제(’10.12)’를 발표하고, 후속 조치들을 이행 중이다.

국내 시장에 전기자동차의 보급이 확대될 경우, 국가 에너지 수급 및 온실가스 배출구조에는 변화가 발생할 것으로 예상된다. 전기자동차 즉 순수 전기차(EV), 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV), 하이브리드 자동차(HEV)의 기술별 보급 상황에 따라 에너지수급 및 온실가스 배출에 미치는 영향은 다르게 나타날 것이다. 보급 초기단계에 배터리 충전이 필요 없는 하이브리드차의 보급이 확대될 경우, 추가적인 전력 수요 증가 없이 휘발유·경유 등의 소비 감소가 예상된다. 그러나 전력망으로부터 전기를 충전해야 하는 플러그인 하이브리드차 및 순수 전기차 보급이 늘게 되면 수송 연료 수요는 더욱 감소하게 되지만, 전력 소비 증가에 따른 발전용 에너지 수요는 증가할 것이다. 따라서 전기자동차의 수급 영향은 1차에너지 수요 기준으로 평가할 필요가 있다. 발전부문의 전원 구성이 온실가스를 많이 배출하는 구조이며, 발전부문의 에너지 전환 효율까지

낮다면, 전기자동차의 높은 에너지 효율성에도 불구하고 1차에너지 소비와 온실가스 배출은 오히려 늘어날 가능성도 존재한다.

유럽에서는 전기차 보급이 1차에너지 소비뿐만 아니라 기존 석유류 소비도 줄이지 못할 것이라는 견해도 존재한다(CE Delft, 2010). 이는 온실가스 배출규제 정책에서 허용하고 있는 전기차에 대한 지나친 ‘특혜(super credit)’의 영향으로, 전기차 보급과 함께 기존 내연기관 승용차 보급도 줄지 않을 것이라는 가정에 근거한다.¹⁾ 또한, 중국의 세 지역을 대상으로 한 연구(Wu et al., 2012)는 석탄의 발전비중이 높은 지역에서 전기자동차(EV, PHEV) 보급을 통해 온실가스 배출을 줄이는 것은 어려운 일이라는 점을 지적하였다.

전기자동차는 에너지절약, 온실가스 감축, 전력 수급 안정(스마트그리드 활용)을 위한 유력한 대안으로 거론되고 있으나, 우리나라의 경우 그 효과에 대한 실증적인 연구는 거의 전무한 실정이다. 특히, 최근의 빠른 전력 수요 증가와 설비 공급의 제약으로 인하여 매년 전력 수급에 어려움을 겪고 있는 우리나라의 입장에서는 전기자동차의 장점만을 이야기하기 전에 전기차가 에너지 수급, 특히 전력 수급에 미치는 영향을 면밀히 검토할 필요가 있다.

2. 연구 목적 및 범위

본 연구는 전기자동차 보급이 우리나라 에너지 수급과 온실가스 배

1) ‘super credit’이란 자동차 제작·판매업체가 전기자동차 1대를 판매할 경우, 판매실적을 1대가 아닌 3대로 인정해 주는 제도를 말한다. 따라서 온실가스 배출이 적은 전기자동차를 많이 판매하는 업체일수록, 회사별로 적용되는 승용차 평균 CO₂ 배출허용 기준을 달성하는데 여유가 생기게 된다. 그러므로 해당 업체는 매출 향상을 위해 내연기관 승용차의 판매량도 더욱 늘릴 것이라는 논리이다.

출에 미치는 영향을 평가하는 것을 주요 목적으로 한다. 정부의 정책 추진 및 기술발전에 따른 전기자동차(EV, PHEV, HEV) 보급 예측을 통해 우리나라의 에너지수급 및 온실가스 배출량 변화를 전망하고, 전력 수급의 안정성을 평가하고자 한다.

이를 위해 먼저 전기자동차를 포함한 우리나라의 미래 승용차 시장 규모를 예측한다. 장기 승용차시장 전망은 KEEI-EGMS(Energy & Greenhouse Gas Modeling System)의 수송부문 모형 확장을 통해 수행한다.²⁾ 전체 승용차 시장 중에서 전기자동차의 판매규모를 전망하기 위해서는 2011년 수행된 설문조사 자료와 이산선택모형을 이용한다. 승용차 시장을 경형, 소형, 중형, 대형 등 차급별로 구분하고, 각 시장별로 기술별 전기자동차의 수요 점유율을 도출하였다. 전기자동차 보급의 효과를 분석하기 위하여 먼저 기술별, 연료별, 차급별 승용차 시장 규모에 대한 기준 전망을 수행한 후, 정부의 전기자동차 보급 정책 및 기술개발 속도에 대한 2개의 시나리오를 설정하여 승용차 시장 전망을 수행한다.

연도별 승용차 시장(판매대수)에 대한 장기 전망 결과는 KEEI-EGMS 모형의 입력 자료로 활용되어 우리나라 전체 에너지 수요 및 온실가스 배출 전망을 가능하게 해 준다. 본 연구는 시나리오별 에너지수요 및 온실가스 배출 전망을 비교함으로써 전기자동차의 보급 효과를 파악하고자 한다. 즉, 전기차 보급이 에너지수요 및 온실가스 감축과 에너지원별 수급 구조에 미치는 영향을 평가한다. 또한 전력 수요(판매)량뿐만 아니라 전기자동차가 최대 전력수요에 미치는 영향도 분석한다. 만약 전기차가 최대 전력수요를 크게 증가시키는 역할을 한다면,

2) 기존의 연료별 승용차 시장을 전기자동차를 포함한 연료별, 차급별 시장으로 세분화한다.

전력수급을 안정화하기 위한 대안을 모색하는 것도 본 연구의 중요한 목적이다. 특히, 스마트그리드와 결합된 ‘V2G’(Vehicle to Grid) 기술이 전기자동차가 증가시키는 전력의 최대 수요를 얼마나 억제할 수 있는지 알아보도록 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 연구에서 다룰 전기자동차를 정의한다. 즉, 전기자동차 기술의 범위와 각 기술별 전기자동차의 장·단점 등 특징들을 자세히 소개하도록 한다. 또한 주요국의 최근 전기자동차 보급계획 및 정책을 비교 분석하고 시사점을 도출한다. 마지막으로 세계 전기자동차 보급 동향을 알아보고, 여러 기관(컨설팅기업 포함)의 전기자동차 시장 전망에 대해 소개하도록 한다.

제3장은 본 연구의 핵심 부분 중의 하나인 전기자동차를 포함한 우리나라 승용차 시장 전망을 주요 내용으로 한다. 이를 위해 전기자동차의 기술별, 크기(배터리 용량)별 시장 보급을 반영할 수 있는 모형을 개발하였다. 그리고 적절한 시나리오 설정을 통해 전기자동차 보급 확산을 가정하고 연료별, 기술별, 차급별로 승용차 시장규모(등록대수)를 전망하였다. 본 연구가 기여한 부분 중의 하나는 설문조사 자료와 계량경제학적 방법론을 이용하여 기술별, 차급별 전기자동차의 시장 수요를 도출하였다는 것이다. 대부분의 선행 연구가 전기자동차 보급을 단순히 시나리오로 가정하여 분석하였으나, 본 연구는 전기자동차의 차급별 시장 수요를 경제학적인 방법을 이용하여 전망하였다는 점에서 차별성을 가진다.

제4장에서는 전기자동차 보급이 에너지 수급 및 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하였다. 먼저 방대한 분량의 국·내외 선행 연구들을 정리하여 소개하였다. 선행 연구 조사를 통하여 본 연구에서 규명

하고자 하는 핵심 내용들을 개략적으로 조망해 볼 수 있다. 다음으로 분석에 사용된 연비와 주행거리에 대한 자료를 설명하고, ‘KEEI-EGMS’를 이용하여 자동차 연료별 주행거리와 연비를 전망하였다. 최종적으로 전기자동차 보급이 에너지수요와 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하였다.

제5장에서는 본 연구에서 도출한 주요한 시사점을 제시하고, ‘V2G’를 이용한 전력수요 관리 효과를 분석한다. 이를 통해 스마트그리드를 이용한 전력 수요관리가 어느 정도 가능한지를 짚어보고, 전기자동차로 인해 증가하는 최대 전력 수요를 억제할 수 있는 방안을 논의하도록 한다.

마지막으로 제6장에서는 연구 결과를 종합·정리하고, 결론을 도출한다. 본 연구 결과는 중·장기 에너지수급 정책 수립의 참고 자료로 활용될 수 있을 것이며, 장기적인 에너지수급 안정과 전기자동차 보급 정책 등의 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

제2장 세계 전기자동차 보급 현황 및 전망

1. 전기자동차의 정의 및 특징

전기자동차는 전기 배터리와 전기 모터를 사용하여 구동하는 자동차를 통칭하며, 정부가 정하고 있는 그린카³⁾의 일종이다. 전기자동차도 배터리 및 모터의 역할이나 전기를 이용하는 구동 프로세스에 따라 순수 전기자동차(Electric Vehicle: EV), 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV), 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle: HEV), 연료전지 자동차(Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 ‘전기자동차’라는 용어를 연료전지차를 제외한 순수 전기자동차(EV), 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV), 하이브리드 자동차(HEV)를 통칭하는 것으로 한정한다. 또한 용어 혼란을 방지하기 위하여 ‘Electric Vehicle’은 ‘순수 전기자동차’ 또는 ‘EV’, ‘Plug-in Hybrid Electric Vehicle’은 ‘플러그인 하이브리드자동차’ 또는 ‘PHEV’, ‘Hybrid Electric Vehicle’은 ‘하이브리드자동차’ 또는 ‘HEV’로 표기하기로 한다.

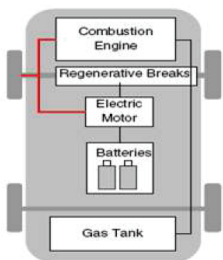
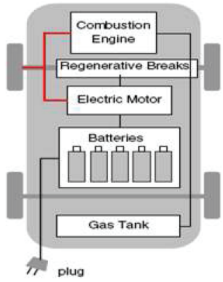
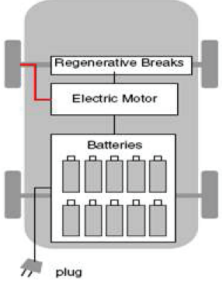
3) 그린카는 ‘전력 기반차’와 ‘엔진 기반차’로 구분된다. 전력 기반차는 화석연료가 아닌 전기, 연료전지 등을 사용하여 직·간접적으로 ‘고출력 전기 동력’을 생성하여 구동하는 자동차로 전기자동차(EV), 플러그인 하이브리드자동차(PHEV), 하이브리드자동차(HEV), 연료전지 자동차(FCEV)로 세분된다. 엔진 기반차로는 ‘Euro-5’ 이상의 배기가스 배출기준을 만족하는 클린디젤 자동차(CDV; Clean Diesel Vehicle)가 있다. 태양광 자동차와 천연가스 자동차도 그린카에 포함된다(관계부처 합동, “세계 4강 도약을 위한 그린카 산업 발전전략 및 과제”, 2010.12)

〈표 2-1〉 전기자동차 종류

종류	개념 및 특징
전기자동차 (EV)	<ul style="list-style-type: none"> - 모터와 전기로만 구동되는 자동차로, 운행 중에 배출가스가 전혀 발생하지 않는 무공해차 - 충전 후 150km 내외만 운행이 가능하므로 충전 인프라 구축 및 배터리 성능 향상이 과제
플러그인 하이브리드차 (PHEV)	<ul style="list-style-type: none"> - 단거리에서는 전기로만 운행하다가 장거리를 운행할 경우 엔진을 구동하는 자동차 - 하이브리드차와 달리 배터리를 충전하기 때문에 충전 인프라가 필요
하이브리드차 (HEV)	<ul style="list-style-type: none"> - 엔진과 모터를 함께 사용하는 자동차로 구동 시 내연기관과 모터를 적절히 작동하여 연비를 향상 - 전기주행은 5km 내외로 가능하며, 배터리를 충전하지 않기 때문에 충전 인프라는 불필요

자료: 지식경제부·환경부·국토해양부·녹색성장위원회 보도자료(범정부 차원의 첫 그린카 발전 로드맵 발표), 2010.12.6.

[그림 2-1] 전기자동차 분류

	하이브리드 자동차 (HEV)	플러그인하이브리드차 (PHEV)	전기자동차 (EV)
구동원	엔진+모터	모터, 엔진(방전시)	모터
에너지원	화석연료, 전기	전기, 화석연료(방전시)	전기
구동 형태			
특징	구동시 내연기관/모터를 적절히 작동시켜 연비 향상	단거리는 전기로만 주행, 장거리 주행시 엔진사용	무공해 차량
주요 차량	프리우스(도요타), 시빅(혼다)	Volt(GM), F3DM(BYD), Karma(Fisker)	Leaf(닛산), iMeve(미쓰비시)

자료: 한국수출입은행, 전기자동차 시장 현황 및 전망, 2011.12.5.

가. 하이브리드 자동차

하이브리드 자동차(HEV)는 하나의 자동차에 2종류 이상의 엔진을 장착하거나, 2종류 이상의 연료를 사용할 수 있는 자동차를 말한다. 현재의 하이브리드 자동차는 가솔린이나 디젤 엔진의 내연기관과 전기 모터를 함께 동력원으로 쓰는 형태가 가장 일반적이다. 우리나라에서는 2000년대 후반부터 본격적으로 시장에 보급되고 있다.

하이브리드 자동차의 개념은 이미 1909년에 특허가 출원될 정도로 오래되었으나 최근 전기자동차 개발 과정에서 새롭게 조명되기 시작하였다(최도영·이상열, 2011). 하이브리드 차량은 내연기관과 전기모터를 동시에 사용하는데, 버려지는 에너지를 회생하여 사용하는 기술이 접목되어 있다. 대표적인 것이 ‘stop and start’ 시스템(또는 ‘idle stop and go’ 시스템)이다. 이는 차량이 정지할 때(브레이크 작동)에는 엔진과 모터 등 모든 구동기관이 정지하고, 출발(가속 페달 작동) 시 다시 순간적으로 엔진이 시동되는 기술이다. 또한, 회생제동 브레이크 시스템(Regenerative break system)은 브레이크를 밟을 때, 열로 버려지는 마찰 에너지를 전기 에너지로 회수하는 기술로, 대부분의 하이브리드 차량에 적용되고 있다(Solar&Energy, 2011). 하이브리드 차는 연료가 많이 이용되는 순간에 엔진 대신 전기모터를 작동함으로써 연비를 높이게 되는데, 전기에너지는 주로 엔진 구동력을 통해 얻어지고 일부는 회생제동 브레이크 시스템으로부터 얻어진다.

하이브리드 자동차는 동력 전달 방식에 따라 직렬형, 병렬형, 복합형으로 나눈다. 직렬형은 주로 전기 모터만 사용해서 자동차를 움직이고, 엔진은 주로 배터리를 충전하는 방식이다. 이 방식은 내연기관이 발전기 역할만을 하고 전기 에너지만을 이용해서 모터를 구동하여 자

동차를 운행한다. 특징은 내연기관이 발전기의 역할만을 수행하므로 배기량이 그렇게 크지 않아도 되고, 최근에는 배터리의 발달로 인해 ‘플러그인’(plug-in) 개념이 도입됨에 따라 가정에서 전기로 배터리를 충전할 수 있어 가솔린을 전혀 태우지 않고도 일정 기간 주행을 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 구동력이 전부 모터로 전달되기 때문에 모터와 배터리가 대형이고 중량이 커서 원가와 공간 면에서 불리하다는 단점이 있다.

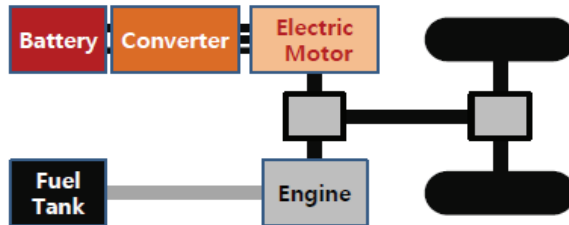
병렬형은 주로 엔진을 이용하여 자동차를 구동하면서 전기 모터가 보조 역할을 하는 방식이다. 이 방식은 많은 힘을 필요로 할 때 배터리에서 전기 에너지를 가져와 모터를 구동하는 힘과 엔진의 구동력을 합하여 큰 출력을 낼 수 있고, 저속구간에서는 전기 에너지만을 이용하여 주행할 수 있다. 100% 전기 에너지를 이용하여 구동하지 않기 때문에 일반 내연기관 자동차를 몰던 운전자들에게 운전의 이질감이 없으며 일반주행에서도 큰 불편함 없이 운행할 수 있다.⁴⁾

하이브리드 자동차는 외부로부터 전기 충전을 하지 않기 때문에, 전기자동차의 단점인 1회 충전시의 주행거리가 짧고 충전이 불편하다는 (긴 충전 시간, 충전 인프라 부족 등) 문제가 발생하지 않는다. 또한 배터리 기술향상으로 엔진 크기를 줄일 수 있다면, 연비를 크게 개선할 수 있기 때문에 전기자동차로 이행해 가는 과도기에 매력적인 대안의 하나로 평가된다.⁵⁾

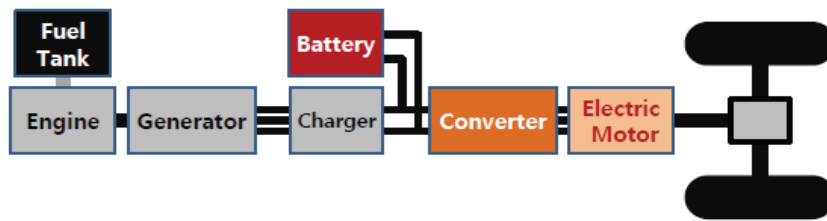
4) 조선비즈 기사 ‘경제 운전이 어렵다면, 하이브리드 자동차 선택’ (2012.7.6.) 참조

5) 반면, 고속도로에서와 같이 전기모터의 활용도가 낮을 경우 오히려 연비가 하락할 수 있으며, 차량이 비싸다는 문제점이 있다(최도영 · 이상열, 2011).

[그림 2-2] 하이브리드 자동차의 구동 방식에 따른 구분



(a) Parallel HEV



(b) Series HEV

자료: Solar&Energy(2011)

[그림 2-3] 대표적 하이브리드 승용차

Prius

Civic

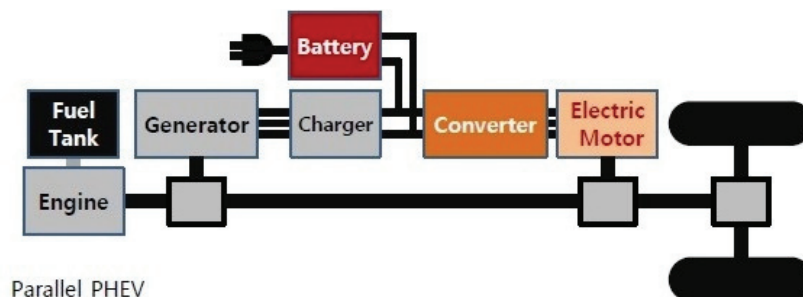


자료: <http://www.fueleconomy.gov>

나. 플러그인 하이브리드 자동차

플러그인 하이브리드 자동차(PHEV)는 주 동력원으로 배터리와 모터를 사용하고, 보조 동력원으로 내연기관을 사용한다. 즉, 배터리가 방전되었을 시에 내연기관 엔진이 작동하는 원리이다. PHEV는 엔진이 동력을 제공하기 전에 전기 동력으로 최대 40mph 속도까지 주행할 수 있다고 한다. 자동차 운행 중 내연기관의 사용을 최대한 억제할 수 있기 때문에 배기가스 방출을 최소화할 수 있다는 특징을 갖고 있다. 따라서 장거리 운행이 필요 없는 출·퇴근용 및 도심 근거리 운행용 자동차로서 매력적인 대안이 된다.

[그림 2-4] 플러그인 하이브리드 자동차(병렬식) 구동 방식



자료: Solar&Energy(2011)

플러그인 하이브리드 자동차는 내연기관 엔진과 배터리를 결합해서 자동차 연비를 개선한다는 점에서 하이브리드차와 비슷한 측면이 있으나, 훨씬 큰 배터리를 장착해야 하고 전력망을 통해 배터리를 충전해야 한다는 불편함이 있다. 그러나 플러그인 하이브리드자동차의 배터리는 전력 그리드 연결 외에도 하이브리드차와 같이 내연기관 엔진,

회생제동장치 등을 통해서도 충전이 가능하다. 따라서 연료 소비 및 배기가스를 더 줄일 수 있고, 연료비를 절약할 수 있다는 장점이 있다. 또한 순수 전기자동차와 비교할 때, 기존 내연기관 주유인프라를 이용할 수 있다는 점에서 매력이 있다.

[그림 2-5] Chevrolet Volt (PHEV)



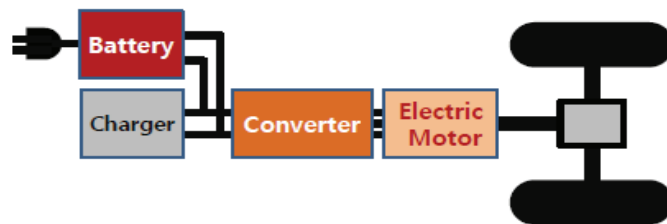
자료: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html>

다. 순수 전기자동차

순수 전기자동차는 배터리와 전기모터의 동력만으로 구동하기 때문에 대기오염을 발생시키지 않고 소음도 거의 없다. 따라서 1980년대 들어 자동차의 배기가스로 인한 환경오염 문제를 해결할 수 있는 대안으로 각광받기 시작했으나, 배터리 기술의 한계로 상용화가 지연되어 왔다. 기존 내연기관 차량을 대체하기 위해서는 긴 거리를, 빠른 속도로 주행해야 하는데, 배터리 기술 수준이 아직 이를 충족하지 못하기 때문이다. 그러나 1990년대 초반에 배터리 신기술 개발 가능성

이 높아지면서 미국을 중심으로 급속하게 개발이 추진되었고, 2000년대 후반 들어 리튬배터리 기술이 급성장하면서 전기자동차에 대한 기대도 높아지고 있다.

[그림 2-6] 순수 전기자동차 구동 개념도



현 시점에서 소형 전기자동차의 상용화는 가능해졌으나, 기존 내연기관 자동차에 비해 아직 주행 가능 거리나 충전시간 등 성능 측면에서 떨어지는 것이 사실이다. 하지만 플러그인 하이브리드 자동차와 마찬가지로 수요가 낮은 심야시간에 전기를 사용할 수 있다는 장점과 배터리기술의 발전에 따라 시장이 빠르게 팽창할 가능성이 있다(최도영·이상열, 2011).

과거 자동차의 역사를 간략히 살펴보면, 순수 전기자동차는 국제유가 및 환경오염, 기후변화 등 국제 경제·사회적 이슈에 따라 몇 차례의 부침을 겪어왔다. 최초의 순수 전기자동차는 1830년경 내연기관차보다 먼저 발명되었다. 그러나 내연기관 기술의 발전으로 오랜 기간 동안 높은 에너지밀도와 연료 주입의 편리성을 자랑하는 내연기관 자동차에 밀려나 있었다. 전기자동차가 다시 반전의 기회를 잡게 된 것은 1970년대와 80년대의 석유 위기 때문이다.⁶⁾

6) 순수 전기자동차의 개발 역사는 Solar&Energy(2011)의 해당 부분 자료를 발췌하

1979년 2차 오일 쇼크 이후 세계 각국의 자동차 회사들은 각국 정부의 전폭적인 지원으로 전기자동차에 대한 연구를 활발히 진행해 왔고, 배터리 기술의 발전과 함께 1990년부터 세계적으로 전기자동차 개발에 박차를 가했다. 그러나 1990년대에 저유가가 지속되는 상황에서 전기자동차의 필요성에 대한 주장이 힘을 잃게 되었고, 예상과는 달리 한두 시간 만에 충전이 될 수 있는 배터리도 개발되지 않았다. 결국 GM이 개발·판매한 전기자동차를 모두 회수해 폐기 처분하면서 전기자동차 개발을 포기하자, 전 세계적으로 전기자동차 개발 동력이 떨어지게 된다.

[그림 2-7] 폐차 처리된 GM의 전기차 E1



자료: Solar&Energy(2011)

내연기관보다 먼저 개발된 순수 전기자동차가 왜 실패하였는가? 그 해답은 전기자동차의 불편성에 있다. 내연기관 자동차는 주유소에 가면 3~5분이면 연료를 채울 수 있고, 한 번의 연료 주입으로 500km 이

여 요약하였다.

상을 주행할 수도 있다. 그러나 전기자동차는 현재 약 6시간(완속충전)을 충전해도 200km를 채 달릴 수 없다. 비록 평균적으로 승용차를 하루 2시간 미만으로 운행하기는 하지만, 간헐적으로 하루에 5시간 이상 운전을 할 필요성도 발생하게 된다. 이러한 운행 수요는 현재의 기술 수준에서 순수 전기자동차로는 만족시킬 수 없다. 1997년에서 2000년까지 수천 대의 순수 전기자동차가 대형 완성차 업체에 의해 생산되었으나⁷⁾, 이들의 대부분은 임대 방식으로 운행되었고, 2000년까지 보다 진보된 전기자동차 프로그램들은 더 이상 나오지 않았다.

이렇게 순수 전기자동차가 관심에서 멀어져 갈 때, 세계에서 가장 좋은 배터리 기술을 획득한 일본 도요타는 1997년에 외부 충전을 할 필요 없이 엔진으로 충전하고, 필요하면 배터리만으로 주행을 하여 오염물질 저감과 연료효율을 높인 하이브리드자동차(HEV)를 개발하였다. 도요타는 세계 최초로 상업적으로 양산된 하이브리드 차량인 ‘프리우스’(Prius)를 1997년 일본에서 처음 출시하였고, 2001년 전 세계 40개국에서 판매하였다. 그리고 10년 이상이 지난 현재 도요타 ‘프리우스’는 누적 100만 대 판매를 눈앞에 두고 있다. 사실 하이브리드차의 가장 큰 기술적인 걸림돌은 배터리이다. 도요타의 프리우스가 출시될 때만하더라도 10년 이상 보증이 가능한 배터리를 만들 수 있는 회사는 도요타와 파나소닉의 합작사인 ‘파나소닉 EV 에너지社’밖에 없는 것으로 알려졌다. 그러나 지금은 대부분 리튬이온배터리가 하이브리드 자동차를 비롯한 전기자동차에 사용되고 있다.

인류가 자동차를 발명하여 사용해 온 이래로 과거에 모두 네 차례의 전기자동차 물결이 도래하였다고 볼 수 있다. 첫 번째는 약 100년

7) Honda의 EV ‘Plus’, GM의 ‘EVI’, 포드의 ‘Ranger pickup EV’, Nissan의 ‘Altra EV’, 쉼보레의 ‘s-10 EV’, 도요타의 ‘RAV4 EV’ 등.

전 자동차가 보급될 당시, 두 번째는 1970년대 미국 로스앤젤레스에서의 광화학 스모그 발생 및 오일 쇼크가 발생했을 때, 세 번째는 1990년대 캘리포니아의 ‘ZEV’(Zero Emission Vehicle) 법안이 발효되었을 때⁸⁾, 그리고 네 번째는 주요 선진국들이 기후변화 대응 및 경제의 신성장동력 발굴을 위해 전기자동차 산업을 육성하려는 현 시점이다.

사실상 제 1, 2, 3차 물결이 도래했을 때는 배터리 문제로 전기자동차의 대중화는 실패하였다. 그러나 2000년 초반부터 다시 시작된 제4의 물결은 배터리 성능의 대폭적인 개선 및 하이브리드 차라는 신 개념 자동차의 등장으로 인해 전기자동차의 대중화로 이어지고 있는 상황이다.

2. 주요국의 전기자동차 보급 계획 및 정책⁹⁾

가. 개요

미국, 일본, EU, 중국 등 주요 자동차 생산국들은 온실가스 감축, 대기환경 개선을 위한 자동차 배기가스 저감, 자동차산업 경쟁력 강화 등을 목적으로 그린카 산업 육성에 노력하고 있다. 특히, 그린카의 핵심인 전기자동차 시장을 선점하기 위해 전기차 관련 기술개발과 시장

8) 1990년 캘리포니아 주는 제로 배출 차량(ZEV; Zero Emission Vehicle)에 대한 칙령을 통과시켰다. 이에 따라 1988년까지 2%, 2003년까지는 10%의 차량이 ‘ZEV’로 판매되도록 정해졌다. 그러나 이후 이 법은 반복적으로 약화되기 시작하여 ‘ZEV’ 차량 수를 감소시키는 결과를 가져오게 되었다.

9) Global Data(2012), 최도영·이상열(2011), Solar & Energy(2011), Economist Intelligence Unit(2011), 지식경제부·한국에너지기술평가원(2011) 등의 문헌을 기반으로 내용을 재구성하였다.

창출에 적극 나서고 있다. 자동차 산업은 전·후방 산업 연관효과가 크기 때문에, 주요국들은 세계 전기자동차 시장 선점을 국가 경쟁력을 강화하고, 지속적으로 경제를 성장시킬 수 있는 핵심 전략으로 인식하고 있다. 이에 각 국은 전기자동차와 배터리 등 연관 기술에 대한 강력한 R&D 투자와 시장 창출을 위한 각종 지원정책을 추진하고 있다. 또한 글로벌 자동차업체들은 이 분야의 주도권을 쥐기 위한 치열한 경쟁에 돌입하고 있다.

세계 최대 자동차시장의 하나이자, 성장잠재력이 큰 중국은 석유 수입의존도를 낮추고, 중국 내 많은 도시에 만연해 있는 심각한 대기오염을 줄이기 위해 전기자동차(EV, PHEV) 분야에서 세계 선두주자가 되려는 목표를 세웠다. 중국 정부는 2020년까지 5백 만 대의 신에너지자동차(EV, PHEV를 지칭)를 중국 내에서 운행하기를 원하고 있다. 중국 정부에 따르면, 이러한 목표 달성을 위해서는 우선 2015년까지 총 신에너지자동차 생산 능력을 연간 5십 만 대로 늘려야 한다. 중국은 이를 뒷받침하기 위해 2020년까지 이 부문에 1,000억 위안(150억 미국달러)의 예산을 책정해 놓았다.

중국뿐만 아니라 선진 자동차 기술을 보유한 미국, 독일 및 일본 역시 이 분야에서 주도권을 갖기 위해 적극적인 노력을 경주하고 있다. 미국에서 2010년 최초의 1세대 전기자동차(Chevrolet 볼트(PHEV)와 Nissan 리프(EV))가 출시됐다. 두 차량은 아직 평가 단계에 있기 때문에 극히 제한된 규모로 출시되었다고 하며 2011년 1월부터 4월까지 미국 내에서 리프는 약 900대, 볼트는 약 1,700대가 팔린 것으로 보도된 바 있다. 미국, EU, 호주와 일본 등 거의 모든 선진국들은 자국의 전기자동차 시장 창출을 위해 차량 구매 보조금과 세제 지원, 그리고

다양한 인센티브를 제공하고 있다.

이하에서는 최근까지 발표된 주요국의 전기자동차 보급 계획과 정책에 대해 소개한다. 또한 마지막에는 각국별 정책 내용을 종합하여 비교하였다.

나. 미국

미국 시장에 전기자동차가 도입된 지는 100년이 넘었지만, 상대적으로 높은 주행 비용, 배터리 교체와 관련된 문제, 그리고 휘발유 자동차에 미치지 못하는 효율 등으로 인해서 전기자동차는 시장에서 실패를 거듭해 왔다.

그러나 오바마 대통령 취임 이후 ‘그린뉴딜 정책’이 발표되면서 변화가 시작되었다.¹⁰⁾ 이 정책의 내용은 2009~2018년 기간 중 총 1,500억 달러를 투자하여 그린카를 포함한 녹색산업 분야의 기술을 개발하겠다는 것이다. 미국 연방정부는 2015년까지 하이브리드차 및 바이오에탄올 차량 100만 대를 보급하기로 하고, 그린카 구매 시 대당 최대 7,500달러의 세제 혜택을 부여할 예정이다.

2009년 8월에는 전기차와 관련된 전체 전·후방 산업의 경쟁력 강화를 위해 24억 달러의 보조금을 지급하는 계획을 발표하였다. 이 계획에 따라 배터리 개발로부터 실증 사업에 이르기까지 전기자동차 생산과 관련된 전 산업을 대상으로 총 48개의 프로젝트를 수립하였다. 대표적으로 ‘첨단기술 자동차 제조(Advanced Technology Vehicle Manufacturing) 프로그램’을 마련하여 자동차 업체에 R&D 자금을 지

10) 오바마 대통령은 2011년 초, 2015년까지 전기자동차(EV) 백만 대 운행을 목표로 하고, 미국을 세계 최대의 배터리 자동차 시장으로 만들겠다는 공약을 재차 천명함으로써 전기자동차와 배터리 산업 육성에 대한 강력한 의지를 표명하였다.

원할 수 있는 기반을 마련하였다. 또한, 수소 연료전지차 실증사업인 ‘National Hydrogen Learning Demonstration’ 사업에 355백만 달러를 투자하여 2004~2009년 기간 동안 수소 연료전지차와 수소생산 인프라를 구축한 바 있다. 미국은 세계 시장에서 하이브리드차 분야에서의 열세를 만회하고자 플러그인 하이브리드차 개발 및 보급에 많은 예산을 투입하였으며(2009년 6천9백만 달러), 그 핵심이 되는 이차전지의 연구개발을 집중적으로 지원하고 있다. 정부 지원의 연구개발 체제는 연구소를 중심으로 진행되고 있는데, 기초 원천기술은 국립연구소와 대학이 주도하고, 응용기술은 국립연구소가, 이차전지 개발은 산업체가 중심이 되어 수행하고 있다.¹¹⁾

전술하였듯이, 미국에서는 오바마 행정부 출범 이후 EV 보급 확대를 위한 여러 개의 프로젝트가 시작되었다. 2009년 에코텔러티(ECotality, Inc.)의 자회사인 eTec(Electric Transportation Engineering Corp.)는 미국의 5개 주에서 주요 EV 프로젝트 개시 목적으로 미국 에너지부로부터 2010년에 11,480만 달러를 지원받았다. 에코텔러티(ECotality)는 애리조나, 캘리포니아, 오리건, 테네시 및 워싱턴 주에 EV 충전 인프라를 설치하고, EV 5,000대를 보급하기 위해 닛산(Nissan), 쉐보레(Chevrolet)와 동반자 관계(partnership)를 구축했다. 높은 자동차 가격, 짧은 주행 거리 및 긴 충전 시간 등이 미국 시장에서 EV의 성장을 제한해 온 주요 요인들이다. 그러나 화석 연료 의존도 감축 목표로 인해 향후 미국에서 EV 보급은 늘어날 것으로 예상된다.¹²⁾ 닛산 리프

11) 미국의 빅3 자동차 업체는 배터리제조업체와 컨소시엄을 구성하여 하이브리드, 플러그인 하이브리드 자동차용 리튬이차전지의 개발에 전력을 다하고 있다. 미국 정부는 자국 내 리튬이온 배터리산업 기반이 취약하다는 약점을 극복하고자 이차전지 관련 산업체들에게 20억 달러를 지원할 계획이다.

12) 미국 시장에는 EV와 달리 추가 동력원으로 휘발유를 사용하는 PHEV와 HEV

(Nissan Leaf)와 쉐보레 볼트(Chevrolet Volt)가 2011년 미국 시장의 주요 모델이었으며, 미쓰비시(Mitsubishi)와 테슬라 모터스(Tesla Motors)도 앞으로 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 한편 미국은 ‘기업평균연비제도(CAFE; Cooperate Average Fuel Economy)’의 기준을 단계적으로 강화함으로써 간접적으로 자동차 제조사들의 전기자동차 판매를 유도하고 있다.

다. 일본

하이브리드차 시장을 선점하여 친환경차 개발 경쟁에서 다소 앞서 있는 일본은 전기자동차 시장의 주도권을 강화해 나가기 위해 ‘차세대 자동차전략 2010’을 발표하였다. 일본은 신차 중 전기자동차 보급률을 2020년까지 15~20%, 2030년까지는 20~30%로 높일 계획이다.

<표 2-2> 일본의 차종별 승용차 보급목표

구분	2020년	2030년
기존 차량	50~80%	30~50%
차세대 자동차	20~50%	50~70%
하이브리드차	20~30%	30~40%
플러그인 하이브리드차, 전기차	15~20%	20~30%
수소 연료전지차	~1%	~3%
클린디젤차	~5%	5~10%

자료: 대한무역투자진흥공사, 최도영·이상열(2011) 재인용

가 이미 상당수 보급된 것으로 알려져 있다.

이를 위해 차세대 자동차 육성 6대 전략을 마련해 체계적으로 관련 산업 지원에 나서고 있다. 2010년 전기자동차 보급 및 충전 인프라 구축에 약 1,200억 원의 예산을 집행한 바 있으며, 배터리 기술개발에 2015년까지 약 2,900억 원을 지원할 계획이다.

<표 2-3> 일본 차세대 자동차 육성 6대 전략

구분	목표	액션플랜
전체전략	일본을 차세대 자동차 개발·생산 거점으로	<ul style="list-style-type: none"> · 보급목표(2020년/2030년)의 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 차세대 자동차: 2020년 최대 30% - 선진 환경대용차: 2020년 최대 80% · 연료 다양화, 부품의 고부가가치화 · 저탄소형 산업입지 촉진
전지전략	세계최첨단 전지연구개발·기술확보	<ul style="list-style-type: none"> · 리튬이온 전지의 성능향상 · 포스트 리튬이온 전지 개발 · 전기차 보급을 통한 양산효과 창출 · 전지 2차 이용을 위한 환경정비
자원전략	희귀금속 확보, 자원순환시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> · 전략적 자원 확보 · 희귀금속 free 전지·모터 개발 · 전지 리사이클 시스템 구축
인프라 전략	일반충전기 200만 기, 급속충전기 5,000기	<ul style="list-style-type: none"> · EV/PHEV 시장준비기 인프라 정비 · 본격 보급기로의 이행 <ul style="list-style-type: none"> - ‘EV 및 PHEV 타운’ best practice 자료집 제작 - 민간(CHAdeMO 협의회)과의 연계
시스템 전략	차량을 시스템 (스마트그리드 등)으로 수출	<ul style="list-style-type: none"> · EV·PHEV 타운을 통한 사업 모델 창출 · 차세대에너지사회시스템 실증사업을 통한 검증 · 검증결과를 고려한 국제표준화 사업 추진
국제 표준화 전략	일본 주도의 전략적 국제표준화	<ul style="list-style-type: none"> · 전지성능·안정성 평가기법의 국제표준화 · 충전커넥터·시스템의 국제표준화 · 민관 협력 표준화 검토체계 강화 · 표준화 인재 육성

자료: 지식경제부·한국에너지기술평가원, 최도영·이상열(2011) 재인용

일본은 전기자동차 상용화의 주요 관건인 배터리와 관련하여 산·관·학 협력을 통해 2015년까지 성능을 1.5배 향상하고 비용을 1/7로 절감하는 배터리 개발을 추진하고 있다. 또한 11개 도시(총 3만 3천대 규모)에 ‘EV 타운’을 조성하여 인프라 구축 및 초기 수요를 창출하고, 전기차 구매에 대해 세제혜택을 부여할 예정이다.

일본은 중앙 정부와 지자체가 각각 전기자동차 구매 보조금을 지급하고 있다. 중앙정부는 전기자동차와 일반 자동차 간 가격 차이의 최대 50%를, 지방정부는 가격 차이의 최대 25%를 보조하고 있다. 한편, 일본은 급속충전기 인프라를 개선하기 위하여 ‘급속충전기 인프라 추진협의회(CHAdemo)’를 2010년에 설립하고, 급속충전 시스템의 국제 표준화도 추진하고 있다.

라. EU

영국, 프랑스 및 독일 정부 등은 순수 전기차(EV) 보급 활성화를 위해 보조금과 세금 환급제를 통한 금전적 인센티브 프로그램을 발표했다. 또한 여러 시범 프로그램과 비금전적 인센티브 제도도 도입하였다. 노르웨이는 버스 전용선 허용, 공공장소에서의 무료 및 무제한 주차, 혼잡 통행료 면제 등의 유인책을 EV 소유자들에게 제공해오고 있다. 이러한 제도들은 현재 EV 시장 성장을 이끄는 주요 동인이며, 향후에도 지속적으로 시행된다면 미래 EV 시장의 성장을 촉진하는 데 기여할 것이다.

유럽의 EV 시장은 현재 도입기에 있으며, 시장 개발을 촉진하기 위해 여러 국가에서 다수의 계획, 인센티브 프로그램이 도입되고 있다. 주요 EV 업체들은 차량 보급을 촉진하기 위해서 닛산 리프(Nissan

Leaf), 르노 플루언스 Z.E.(Renault Fluence Z.E.), 미쓰비시 아이미브(Mitsubishi i-Miev), 시트로엥 C-제로(Citroen C-Zero) 등과 같은 모델을 개발하고 있다. 자동차의 온실가스 배출량을 줄임으로써 ‘20-20-20’ 목표를¹³⁾ 달성하고자 하는 의지가 유럽의 EV 보급을 확대하는 주요 추진력이다.

1) 영국

영국 정부는 온실가스 배출 감축 수단으로서 EV를 대규모로 보급하기 위해 다수의 정책들을 개발했다. 2009년 영국 정부는 향후 5년간 저탄소 교통 활성화에 2억 5,000만 파운드(4억 930만 달러)를 투입하겠다고 발표했다. SMMT(Society of Motor Manufacturer and Traders, 자동차 제조·판매사협회)에 따르면, 2012년 3월 현재 1,276명의 전기자동차 소유자들이 플러그인 하이브리드 자동차 보조금 제도를 통해 환급금을 요청했다고 한다. 이 보조금 제도에 따르면, 운전자들은 전기 또는 플러그인 하이브리드 자동차 구매 시 2,000파운드(3,133달러)에서 최대 5,000파운드(7,832달러)의 보조금을 받을 수 있다. 이 제도는 2011년 1월에 시작되었으며, 보조금은 2014년까지 제공될 예정이다.

2) 독일

2008년 11월 독일 정부는 ‘Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität’(National Strategy Conference on Electric Mobility)에서 2020년까지

13) 2020년까지 총에너지 사용 중 재생가능 에너지의 비율을 20%로 끌어올리고, 탄소배출을 20% 감축하는 목표를 말한다.

순수 전기차를 1백만 대, 2030년까지는 5백만 대를 보급하겠다는 계획을 발표했다. EV 보급을 가속화하기 위해 정부는 2009년부터 2011년까지 R&D 활동에 5억 유로(6억 5,350만 달러)에 이르는 재정을 지원하고, 일부 EV 시범 프로젝트에도 정부 자금을 제공할 계획이다. 2016년까지 현장 테스트, 시범사업, 리튬-이온 배터리 및 PHEV, EV, FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle)의 대량 생산에 중점을 둘 예정이다.

독일은 2010년 5월 3일 NPE(National Development Plan Electromobility) 설립 및 합작 투자선언을 채택하였다. 이로써 전기자동차 가치사슬의 주요 이해관계자들을 단일 포럼으로 모으는 데 성공하였다. 연방 정부는 독일 자동차 산업과 함께 연구 자금으로 20억 유로(26억 5,000만 달러)를 지원하고 있다. NPE 대표자들은 첫 번째, “2020년까지 최소한 1백만 대의 EV를 도입하여 독일을 EV부문 세계 1위 시장으로 만든다.” 두 번째, “우수한 혁신 제품 개발 및 마케팅을 통해 독일을 글로벌 EV 선두업체로 만든다.”는 두 가지 목표 달성을 위해서 긴밀하게 협력할 예정이다.

3) 프랑스

2009년 프랑스 정부는 2010년까지 최소 10만 대의 ‘무탄소 자동차’ 운행을 목표로 하는 계획을 발표했지만, 인프라 부족으로 인해 이를 달성하는 데 실패했다. 이후 2015년을 기준으로 하는 새로운 목표를 수립하였다. 프랑스 정부는 순수 전기차 또는 하이브리드 자동차를 2015년까지 45만 대, 2020년까지 2백만 대, 2025년까지는 4백 50만 대를 도입한다는 추가 목표도 수립했다. EV 제조업체 PSA 푸조(Peugeot), 시트로엥(Citroën), 르노(Renault)는 2015년까지 플러그인

하이브리드차 7만 대를 공급하기로 약속했다. 또한 EDF(Electricité de France, 프랑스전력공사), SNCF, 에어 프랑스(Air France), 프랑스 텔레콤(France Télécom), 프랑스 우체국(La Poste)등의 기업들은 EV 5만 대를 구매하겠다고 약속했다.

프랑스 정부는 신규 승용차의 평균 이산화탄소 배출량을 대상으로 하는 ‘에코 라벨’을 설계했다. 이에 따라 2008년 1월 이후 프랑스에서 판매되는 신차 중 저탄소 배출 자동차를 우대하는 BMS(Bonus-Malus System, 보조금-부과금제도)가 시행되고 있다. 또한 정부는 2009년 신차 및 소형 상용차를 대상으로 킬로미터 당 이산화탄소 배출량이 60g 미만인 자동차에 5천 유로(6,968.5달러)의 보조금을 지급하는 제도를 발표하였다.

4) 오스트리아

오스트리아의 전기자동차 시장은 매우 느리게 성장하고 있다. 2010년 도입된 국가 에너지 전략(National Energy Strategy)은 온실가스 배출량 감축을 위한 다양한 조치를 담고 있으며, 신재생 에너지원으로 공급되는 전기자동차 도입이 EU의 ‘20-20-20’ 목표를 달성하는 데 핵심이 된다고 보고 있다.

오스트리아는 EV 판매 촉진을 위한 국가 보조금 제도를 마련하고 있다. 또한 전기자동차 구매 시 연료 소비세가 면제된다. 연료 소비세 면제 혜택을 받지 않을 경우, EV 가격은 최대 16% 정도 더 올라가게 된다. 2008년 7월에는 배출량이 120g/km 미만인 자동차에 대해 최대 300유로(442달러)의 보너스를 지급하는 ‘BMS 시스템’이 발표되었다.

그 외 EV 보급 촉진을 위한 오스트리아의 주요 정책으로는 ‘라이트

하우스 프로젝트 이니셔티브'(Lighthouse Project Initiative, 예산 1,900만 유로)와 2010년에 기후 및 에너지 펀드(Climate and Energy Fund)가 출시한 '전기 이동성(Electromobility) 프로그램 모델'(예산 350만 유로)이 있다. 이 프로그램들은 전기자동차 인프라와 같은 '전기 이동성' 분야의 시범사업 및 사업 실행을 목적으로 한다.

5) 덴마크

덴마크는 석유 및 천연가스 등 화석에너지 의존도를 줄이기 위해 순수 전기자동차를 도입하기 시작했다. 덴마크는 2007년에 신재생에너지 비중을 확대하기 위해 새로운 에너지 전략을 발표하였는데, 정부의 궁극적인 목표는 2025년까지 총에너지 공급에서 신재생에너지의 비중을 최소한 30%까지 올리는 것이다. 2010년 기준으로 덴마크에서 소비되는 전기의 20% 이상이 풍력 터빈으로 생산되고 있다. 풍력에너지는 상시적인 안정적 공급을 보장할 수 없기 때문에 전기자동차의 전력 소비를 효율적으로 관리하는 것이 매우 중요하다. 덴마크에서는 EV 보급 촉진을 위해 다수의 성능 테스트와 EV 시범 프로그램이 진행되고 있다.

순수 전기차와 연료전지 자동차는 2015년까지 등록세와 보유세가 면제되며, 무게 2,000kg 미만의 순수 전기차는 자동차 가격에 따라 등록세가 면제된다. 또한, 도시 내에서 무료주차 혜택이 주어진다.

2008년 2월 거의 모든 정당들이 새로운 기후 및 에너지 협정(Climate and Energy Agreement)에 가입하였으며, EV 시범 프로그램 장려를 위해 DKK 3,000만(590만 달러)을 지원하기로 합의했다. 이 협정의 주요 목적은 덴마크 내 EV 보급과 관련된 실질적인 장애물이 무엇인

지 파악하는 것이다. 2009년부터 2012년까지 매년 시범 프로그램에 재정이 투입되고 있으며, 모든 시범사업을 덴마크 에너지청(Danish Energy Agency)에서 점검하고 있다.

2009년 3월에는 EV 및 PHEV 에디슨(Edison) 프로젝트가 도입되었다. IBM, 지멘스(Siemens), DTU/Risø, 유리스코(Eurisco), Østkraft, DONG 에너지(DONG Energy), Dansk Energi 등이 프로젝트 컨소시엄을 구성하였다. 에디슨 프로젝트는 EV 및 PHEV 관련 시스템 솔루션과 기술 개발을 위한 국제 연구 벤처이며, 포스크엘(Forskel) 연구 프로그램을 통해 부분적으로 정부자금이 지원된다. 에디슨 프로젝트의 총 예산은 대략 DKK 4,900만(857만 달러)이다.

6) 이탈리아

이탈리아는 온실가스 배출량 감축을 목적으로 법·규제를 제정하고, 표준화 및 시범사업을 통해 EV를 도입하였다. 이탈리아의 국가 표준 설정 기구는 ISO(International Standard Organization, 국제표준기구)와 IEC(International Electrochemical Commission, 국제전기화학위원회) 등과의 협력을 통해 EV 부품과 관련된 표준화 작업도 시작했다.

2010년 이탈리아에서 시작된 EV 보급 프로젝트 중 하나가 ‘E-Mobility’이다. ‘E-Mobility’는 EV 보급을 촉진하기 위해 적절한 인프라 구축을 지원하는 사업이다. 이 프로젝트는 이탈리아 최대 전력 회사인 에넬(Enel)과 다임러(Daimler)가 참여한다. 에넬은 밀란, 피사, 로마 등의 도시에 400개의 충전설비를 설치했으며, 다임러는 EV 100대를 소비자들이 월정액 전기요금으로 렌트할 수 있도록 제공했다.

롬바르디아(Lombardy) 전력회사 ‘A2A’와 르노(Renault)가 협업으

로 진행한 E-Moving 프로젝트는 브레시아(Brescia)와 밀란 등의 도시에서 충전 인프라 설치 및 EV 시범사업을 진행하고 있다. 그 외에도 EV 보급과 온실가스 배출 감축을 장려하기 위해서 이탈리아 내에서 많은 프로젝트들이 실시되었으며, 다양한 기관에서 EV에 대한 연구도 진행 중이다. 도요타(Toyota), 혼다(Honda), 르노(Renault), 다임러-스마트(Daimler-Smart), 미쓰비시(Mitsubishi)등과 같은 자동차 제조업체들은 이탈리아를 유럽의 신흥 시장 중 하나로 보고 있다.

7) 네덜란드

네덜란드는 전기 이동성(E-Mobility)을 촉진하고, 이산화탄소와 질소산화물 배출 감축을 위해 여러 가지 새로운 계획을 내 놓았다. 2009년에 네덜란드를 EV 선도국으로 만들기 위한 국가 실행 계획(National Action Plan)이 시작되었다. 국가 실행 계획의 활동에는 차량 테스트, 연구 및 시범 프로젝트, 충전 인프라 R&D와 전기자동차 및 관련 부품 생산 등이 포함된다. ‘에코드라이빙’(Eco-driving) 활성화를 위한 전담 의사소통(communication) 프로그램도 추진되고 있다.¹⁴⁾

네덜란드는 하이브리드 자동차의 판매 촉진을 위해 2006년부터 차량의 에너지효율 라벨과 연비에 따라 차등 부과되는 세금을 HEV에는 면제해 주고 있다. 2011년 6월 르노-닛산 연합체(Renault-Nissan Alliance)와 ‘E-laad’ 재단 간에 양해각서(Memorandum of Understanding)가 체결되었고, 후속 조치로 닛산 리프(Nissan Leaf), 르노(Renault)의 캥구

14) 에코드라이빙이란 모든 종류의 차량 운전자들이 연료 효율적인 운전 행동을 하도록 하는 것으로, 운전면허 시험에 포함되었다. 에코드라이빙으로 연비를 10~20% 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다.

Z.E.(Kangoo Z.E.) 밴, 플루언스 Z.E.(Fluence Z.E.) 등의 순수 전기자동차가 소비자들에게 제공될 예정이며, ‘E-laad’는 충전소 설치를 담당하게 된다.

네덜란드에서는 전기차에 관한 많은 R&D 프로그램이 진행되고 있다. 2010년 네덜란드 정부는 약 1천만 유로(1,327만 달러)의 예산으로 보조금 프로그램을 수립했다. 이에 따라 2010년부터 2012년까지 9개의 시범 프로젝트에 보조금이 지원되었다.

8) 포르투갈

포르투갈은 화석연료 수입의존도를 줄이는 것을 주요 목적으로 EV를 도입하였다. 2008년 포르투갈 정부는 지능형 전기그리드 관리를 이용한 혁신적인 전기 이동성 시스템을 만들고자, 국가 전기 이동성 프로그램을 출범했다. Mobilidade Eléctrica(MOBI.E)는 완전 통합형 전기 이동성 모델이자, EV 충전 인프라 및 전기 그리드 관리시스템이다.

2011년 12월 현재, 자동차 취득세(Vehicle Acquisition Tax)와 운행세(Circulation Tax) 면제, 2012년 말까지 판매될 EV 5,000대에 최대 6,500유로(8,567달러)의 보조금 제공, EV를 보유하는 회사에 법인세 공제, 우선 차로와 전용순환구역 이용 등의 인센티브가 순수 전기차에 제공된다.

포르투갈이 EV R&D와 관련해 중점을 두고 있는 부분은 ‘MOBI.E’ 네트워크 설치를 지원하기 위한 통합 인프라이다. 또 다른 주요 이니셔티브는 E2 리서치 넷(E2 Research Net)으로 알려진 지속가능한 에너지 시스템과 전기 이동성 연구 플랫폼 및 네트워크(Sustainable

Energy Systems and Electric Mobility Research Platform and Network)이다. E2 리서치 넷 이니셔티브에는 MIT(Massachusetts Institute of Technology)의 연구팀이 참여하고 있으며, 민호대학교(University of Minho)와 노바베이스(Novabase) 등도 이 연구 플랫폼에 참여하고 있다.

9) 스페인

2010년 스페인 정부는 2014년까지 PHEV 25만 대를 포함해서 EV 1백만 대를 보급하겠다는 계획을 공식 발표했다. IDAE(Institute for Energy Diversification and Saving)와 지방 정부는 최소 전기 주행거리가 20km 이상인 PHEV에 최대 7,000유로(9,747달러)의 인센티브를 제공한다. 스페인에서는 2009년에 EV의 타당성을 검증하기 위한 ‘모빌레(Movele) 프로젝트’ 시범 프로그램이 도입되었다. 이 프로그램에 따라, 2011년까지 EV 2,000대가 보급되었으며, 500개 이상의 충전소도 설치되었다. PHEV 및 EV 구매 시 차량 가격 및 기술 규격에 따라 차량 가격의 15~20%의 범위에서 공적 인센티브도 제공된다.

2009년 산업무역관광부(Ministry of Industry Trade and Tourism)는 EV 제작에 5,600만 유로(7,807만 달러)를 제공했다. 또한, 자동차 제조업체 SEAT, 르노, 닛산, 푸조 등은 스페인 EV 산업에 8,800만 유로(1억 2,268만 달러)를 투자했다. 산업무역관광부는 주로 HEV 및 EV를 중심으로 하는 자동차 산업 투자 자금조달 활성화 계획을 수립하기 위해 2010년 예산에 10억 유로(14억3천만 달러)를 배정하였다.

10) 스웨덴

스웨덴도 전기자동차 보급 활성화를 위해 EV 및 HEV 구매 시 다양한 인센티브를 제공한다. 스웨덴 정부는 이산화탄소 배출량이 120g/km 미만인 HEV의 연간 운행세를 자동차 등록일로부터 5년간 면제하며, 에너지 소비효율 37kWh/100km 미만인 EV도 2009년 1월1일 이후 등록된 차량부터 연간 운행세를 면제받는다.

2011년에 자동차 연구 및 혁신 프로그램(FFI), 에너지 효율적인 도로 차량 프로그램 및 스웨덴 하이브리드 자동차 센터(SHC) 프로그램 등 전기, 하이브리드 및 연료전지 자동차를 다루는 3개의 국가 연구 프로그램이 정부 지원으로 진행되고 있다.

마. 중국

중국은 2020년에 약 3천만 대의 자동차를 보유할 것으로 예상된다. 이에 석유공급과 환경오염 등이 심각한 문제로 부각되면서 친환경차 개발에 적극적으로 나서고 있다. 특히 중국정부는 자국 자동차 수요구조가 전기차로의 대체가 비교적 용이한 소형차 위주이며 전기차가 친환경차 중 하이브리드차, 클린디젤차 등에 비해 기술개발이 더디게 이루어지고 있는 점을 고려하여 전기차에 중점을 두고 관련 정책을 추진하고 있다.

중국은 2010년 8월 ‘에너지절약·신재생에너지 자동차 발전 프로그램’ 초안을 완성하여 관련 부처의 의견을 수렴 중인 것으로 알려져 있다. 이 안에 따르면 중국 정부는 전기차 및 하이브리드차를 2015년까지 50만 대 이상 보유하는 것을 목표로 하고 있으며, 이에 대응하는

인프라를 갖추고 2020년까지 5백만 대 이상 판매하는 시장으로 성장 시킨다는 계획이다. 네트워크화된 충전시스템과 도시 및 구역 간 운행 체계를 갖추는 것도 목표로 하고 있다. 이를 위해 중국정부는 지난 10여 년 간 20억 위안을 5,000개 이상 전기차 관련 연구과제에 투자해 왔으며, 2020년까지 전기차 관련 기술개발에 600억 위안을 추가로 투자하고, 인프라 구축에 400억 위안을 지원할 계획이다. 이와는 별도로 50억 위안을 투입해 시범도시 기초 인프라 건설에, 100억 위안을 신 에너지 차량 부품체계 발전에 사용할 계획이다.

또한 2011년 3월 전기차의 보급 확산을 위해 개인구매 보조금 지원 정책을 발표했는데, 전기차는 6만 위안, 하이브리드차는 3만 위안을 지원한다. 지원 대상을 13개 도시에서 2011년 6월에는 베이징, 상하이, 충칭, 쉐젠, 톈진, 정저우, 시아먼, 광저우 등 25개 도시로 확대하였고, 쉐젠과 항저우는 현재 실행 계획을 확정하였다. 또한 16개 자동차 기업에 친환경자동차 생산 대당 3천 위안을 지원해 주기로 했다. 또한 인프라 구축 측면에서는 27개 성에 600여 개, 도시지역에 75개 등 시범 충전소 및 시설 설치를 시작으로 2020년까지 1만여 개 이상을 건설하는 것을 목표로 하고 있다. 중국은 전기차와 플러그인 하이브리드차를 그린카 대표모델로 선정하였으며 산업화를 위해 1단계인 2015년까지 부품 생산능력과 핵심 기술력을 강화하고, 기존 자동차 연비 기준을 향상할 계획이다. 2단계인 2016~2020년에는 부품기술을 선진국 수준으로 향상한 후 본격적으로 전기차와 플러그인 하이브리드차를 보급해 주력 산업으로 육성할 계획이다. 연비 기준도 2009년 15.1 km/ℓ 에서 2015년 17.9km/ℓ 로 18% 상향 조정하였으며, 연비 목표를 충족하지 못하는 차량은 중국내 판매가 금지된다.

〈표 2-4〉 중국 친환경차 발전 단계별 주요 목표

단계	기술	내용
제1단계 (2011~2015년)	중요 부품, 핵심기술 자 주화 실현	<ul style="list-style-type: none"> - 하이브리드 자동차 보급, 기존 자동차 연비 향상 - 중도 및 고도 하이브리드차 보유량 100만대 초과
제2단계 (2016~2020년)	주요 부품 핵심 기술의 선진수준 도달	<ul style="list-style-type: none"> - 순수 전기자동차, 플러그인 하이브리드차 보급 - 신에너지차량 연간 생산·판매량 각 150만대, 보유량 500만 대 달성 - 중도 및 고도 하이브리드 자동차 연간 생산·판매량 각 300만 대 달성

자료: 산업연구원, Solar&Energy(2011) 재인용

바. 우리나라¹⁵⁾

우리 정부는 그린카를 녹색성장을 달성을 위한 유력한 대안의 하나로 선정하고 관련 산업을 육성하기 위해 적극적으로 나서고 있다. 2010년 3월 발족된 ‘그린카 전략포럼’에서 논의된 기술개발, 인력 양성, 보급 및 실증, 법·제도 등에 대한 다양한 전략을 토대로 ‘그린카 발전 로드맵’을 2010년 12월에 발표하였다.¹⁶⁾ 2015년까지 그린카 120만 대를 생산하여 그린카 기술 4대 강국을 달성한다는 것이 이 로드맵

15) 범정부 보도자료 ‘세계 4강 도약을 위한 그린카 산업 발전전략 및 과제’(2010년 12월), 지경부 보도자료 ‘지경부, 전기차 보급 촉진을 위한 첫 걸음 내디뎀...’(2011.12.22.), 환경부 보도자료 ‘2012년 전기자동차 2,500대 본격 보급(2012.2.29.)’, 환경부 보도자료 ‘전기자동차의 시대가 열린다... 국내 양산 첫 전기차 17일 출시’(2012.4.18.), 지경부 보도자료 ‘전기차 필요할 때 시간 단위로 이용하세요!’(2012.7.25.) 등 정부 발표 내용을 중심으로 정리하였다.

16) 그린카 발전 로드맵의 주요 내용은 ‘세계 4강 도약을 위한 그린카 산업 발전전략 및 과제’(2010년 12월, 범정부 보도자료) 또는 최도영·이상열(2011)의 pp.40~43 참조.

의 목표이며, 이를 달성하기 위한 기술개발 및 보급 지원책을 수립하고, 관련 시장 상황과 정책 진행 단계를 모니터링 하면서 정책을 보완해 나가고 있다.

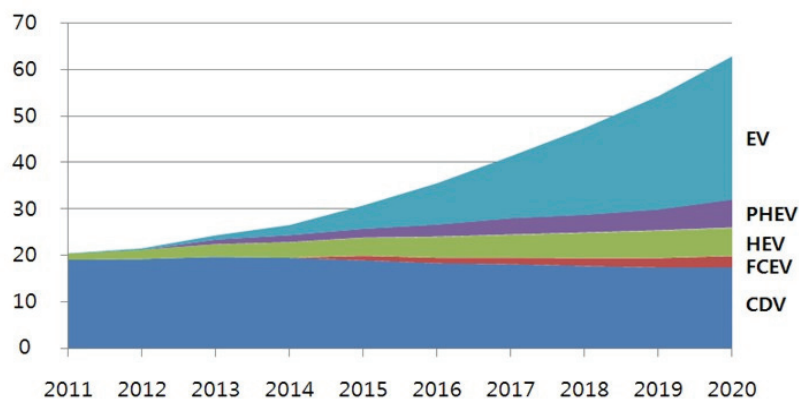
〈표 2-5〉 국내 그린카 발전 로드맵 주요 목표

지표	현재수준(2010)	단기(2015)	장기(2030)
국산화율	70%	85%	95%
기술수준	85%	90%	100%
세계 시장 점유율	-	6.7%	9.0%

자료: 지식경제부·한국에너지기술평가원, 최도영·이상열(2011)의 <표 2-12> 재인용

[그림 2-8] 국내 그린카 보급 목표

(단위 : 만 대)



자료: 지식경제부·환경부·국토해양부·녹색성장위원회 보도자료, 2010.12.6.

2011년 9월에는 관계부처 합동으로 ‘전기자동차 개발 및 보급 계획’을 수립하고 2020년까지 전기자동차 100만 대를 보급하여 대기오염물질 30만 톤, 온실가스 6백70만 톤 감축을 추진하기로 하였다.

2012년 2월에는 환경부가 한 해 동안 전기자동차 2,500대 보급을

목표로 하는 ‘2012년 전기자동차 보급계획’을 발표하였다.¹⁷⁾ 이 계획에 따르면 전기차 보급 대상을 공공기관뿐만 아니라, 공공부문에 대한 리스, 렌탈과 지역단위 ‘car sharing’(차량 공동이용) 등으로 확대할 예정이다. 환경부는 전기차 국고 보조금을 동일 모델 휘발유 차량과의 가격차액 중 50%, 최대 2,000만 원까지 지원하고, 차량을 1대만 구입해도 차량 소재지에 충전소를 전액 무상으로 설치하여 줌으로써 전기차 충전기반 확대를 유도하고 있다.

2012년에 생산이 예정된 국산 순수 전기승용차는 기아의 ‘레이 EV’, 르노 삼성의 ‘SM3 Z.E’ 등이다. 경형 고속 전기자동차인 ‘레이 EV’는 국내 최초의 전기자동차 양산모델로서 최고 속도는 130km/h이며, 1회 충전 시 최고 135km까지 주행이 가능하다고 한다. ‘레이 EV’의 판매가격은 4,500만 원으로, 구매 시 대당 1,500만 원의 보조금과 충전인프라 구축비용 880만 원이 지원된다(환경부 보도자료, 2012.4). 이와 함께 개별소비세, 취득세, 교육세 등 최대 420만 원의 세제 감면 혜택도 받을 수 있다(지정부 보도자료, 2011.12). 르노 삼성의 ‘SM3 ZE’는 2012년에 공공기관을 대상으로 우선 보급된 후, 2013년부터 일반 소비자에게 판매될 예정이다.

한편 환경부는 일반 소비자의 전기자동차 체험기회를 확대하기 위해 2012년 하반기부터 제주도 내 전기렌터카를 시범 운행하는 등 EV 선도도시와의 협력을 강화하며, 다양한 보급 모델 도입을 유도할 예정이다. 또한 급속 충전네트워크 구축 등 공공 충전인프라를 강화하고, 위치 정보와 사용 정보를 웹사이트 및 스마트폰 앱을 통해 제공하는 ‘공공 충전인프라정보시스템’도 5월부터 시범 개통하였다(환경부 보도자료, 2012.4).

17) 환경부 보도자료 ‘2012년 전기자동차 2,500대 본격 보급(2012.2.29.) 참조.

지식경제부는 2012년 7월 순수 전기차 셰어링 시범 서비스에 착수하였고, 10월에는 전기차 기술개발 실증사업의 일환으로 수도권 지역을 대상으로 ‘카 셰어링’ 실증사업¹⁸⁾을 개시하였다. 이 사업에 사용되는 전기차는 대용량의 배터리를 탑재하여 일정 수준 이상의 주행거리가 확보된 고속 전기자동차이다. 지경부는 이 사업에 총 35억 원을 지원할 예정이며, 11월말까지 관련 사업자를 모집하고, 2012년 내로 최종 사업자를 선정할 계획이다. 이 실증사업은 16개월 정도 진행될 예정인데, 일반 소비자들이 전기차를 실생활에서 직접 이용함으로써 전기차 보급을 활성화함은 물론, 관련 서비스사업자의 초기 시장 진출을 촉진하고, 향후 서비스의 확대 가능성을 모색하는데 의미가 있다. 사업 추진과정에서 사업을 실시간으로 관리·운영하기 위한 ‘전기차 공동이용 IT운영시스템’을 개발하고 국내 주택환경에 맞는 보급형 충전기 개발도 병행한다(지경부 보도자료, 2011.10).

사. 종합 비교 및 시사점

위에서 살펴본 것과 같이, 미국, EU, 일본, 중국 등 세계 주요 국가들은 전기자동차 구매 보조금 지원, 세제 혜택 등의 금전적인 인센티브뿐만 아니라 주차 및 충전 편의성 제공, 차량 운행 관련 인센티브 제공 등 각종 지원책을 시행하고 있거나 도입할 예정이다.

주요국들은 자국의 법·제도 및 경제 환경에 따라 차이는 있지만

18) 자동차를 소유하는 것이 아니라 사용하는 개념으로, 자동차를 빌려 쓰는 제도 중의 하나이다. 렌트카와는 달리 주택가 근처에 보관소가 있으며, 주로 시간단위로 필요한 만큼 사용하고 차를 반납하는 방식이다. 카 셰어링 사업은 이미 프랑스, 미국 등에서 운영되고 있으며, 프랑스는 2012년 12월부터 파리와 일부 인근지역에서 전기차 66대와 주차장 겸 정거장 33곳을 확보하여 카 셰어링서비스를 제공할 계획이다(지경부 보도자료, 2011.10).

전기자동차 기술개발과 시장 창출을 위해 적극적인 행보를 보이고 있다.

특히, 세계 최대 자동차 시장인 미국은 오바마 정부 출범 이후, 전기자동차와 배터리 기술 확보에 적극적으로 나서고 있으며, 전력회사와 자동차업계, 스마트그리드 업체 등의 컨소시엄을 통한 시범사업을 전개하여 효율적인 전기자동차 시장을 구축하기 위해 노력하고 있다. 또한, 미래 시장잠재력이 가장 크다고 볼 수 있는 중국도 석유수입 감축, 대기오염 개선 등을 목적으로 전기자동차 산업 육성과 시장 보급을 위해 과감한 투자와 정책을 전개하고 있다. <표 2-6>과 같이 대부분의 국가들은 전기자동차, 배터리, 충전설비 개발을 지원하고 있다.

〈표 2-6〉 전기자동차 개발지원 현황 및 계획

국가	주요 내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> - 전기자동차 및 배터리 R&D에 \$24억 보조금 지급 계획발표(2009.8) - DOE \$240억 신재생에너지 대출 집행 - 2012년 전기자동차 충전소 2만 곳으로 증가 - 배터리 개발, EV 생산설비 건설, 실증사업 등 총 48개 Project 확정 및 자금 지급
일본	<ul style="list-style-type: none"> - 2020년까지 자동용 및 급속충전기 200만 대 - 2015년 LIB 가격, 현재보다 65% 낮춤 - NEDO 주관 차세대 배터리 개발 프로젝트 시작(2009~2015년, 총 210억 엔 규모) - 실증실험 모델 사업의 EV/PHEV 타운 선정 (2009년 동경 등 7개소)
독일	<ul style="list-style-type: none"> - 전기자동차 연구개발 기금 조성 - 2011년까지 배터리 등 기술개발 €5억 지원
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> - 무 공해차 및 관련부품 생산업체에 매년 €2,000만 지원(2006~2010년)
중국	<ul style="list-style-type: none"> - 2020년까지 1,000억 위안(약 17조 원) 집행 - 12.5 계획의 7대 전략사업 중 하나
한국	<ul style="list-style-type: none"> - 2020년까지 전기자동차 개발에 15조 원 투입 - 2020년까지 배터리 가격 현재보다 80% 낮춤 - 2020년까지 배터리 수명 20년 도달

자료: Solar&Energy(2011)

한편, 대부분의 국가들은 전기자동차 초기 시장 창출을 위하여 전기자동차 구매자에게 직접적인 보조금을 지급하고, 다양한 세제 혜택을 부여하고 있는 상황이다. 또한 공공주차장 무료 주차(주차 할인), 공공충전소 무료 충전 등 전기자동차의 주차 및 충전에 대한 인센티브를 제공하고, 차량 운해시의 편의성 증대를 위하여 전용차로 제공, 통행료 면제 등의 혜택도 부여하고 있다.

〈표 2-7〉 EV · PHEV 관련 정책 비교

구분	판매목표	금전적 인센티브	비고
미국	2015년까지 누적 1백만 대	대당 \$7,500	에너지부 투자기금 \$20억
일본	2020년 전기동력 자동차 200만 대 보급 목표 2020년까지 50만 대 EV 보급 계획	대당 ¥139만	인센티브는 연 단위로 변경 가능성 높음
영국	2020년까지 누적 150만 대, 2015년까지 런던에만 10만 대 EV 보급 목표	대당 £5,000	저탄소 차량에 £2억5,000만 지원
독일	2020년까지 누적 1,000,000대	-	인프라 및 배터리 개발에 €2억 8,500만 투자
프랑스	2020년까지 200만 대 정부 보유 5만 대	대당 €5,000	2020년까지 €15억
스페인	2014년까지 250,000대 판매	대당 €6,000	초기에는 마드리드, 발렌시아, 세비야 중심
중국	2011년말까지 500,000대 생산	대당 \$8,000	12개 도시에서 인센티브 적용
	2010년까지 10대 도시에서 각 1,000대 이상 EV 사용 의무화 2012년까지 중국 신차판매 10%를 친환경차량으로 점유	대당 RMB 6,000	-
한국	2020년까지 누적 1백만 대('15년 소형차 시장의 20%, '20년 자동차 시장의 20%)	가격차의 약 50% 수준(최대 2,000만원)	세제, CO ₂ 관련 보너스, 인센티브

자료: Solar&Energy(2011)

〈표 2-8〉 국가별 전기자동차 구매 보조금 현황 및 계획

국가	구매 보조금 내역
미국	- 연방정부, EV 대당 최고 \$7,500 보조금 지급 - 주정부마다 별도의 보조금 지원
일본	- 2020년까지 최대 139만 엔 구매 보조금 지급(지자체 별도)
영국	- PHEV, EV 구매보조금 대당 최고 £5,000 지원
독일	- 신차 구매시 최대 €2,500 지원
프랑스	- 대당 최고 €5,000의 EV 구매보조금 지원
오스트리아	- 탄소배출량에 따라 최대 €300 보조금 지급
벨기에	- 신차 구매 시 차량가격의 3%(최대 €850)에서 차량가격의 15% (최대 €4,540) 지원
이탈리아	- 신차 구매 시 최대 €1,500 지원
포르투갈	- 신차 구매 시 €1,000~1,250 지원
중국	- EV 대당 최고 6만 위안 보조
한국	- 2012년까지 공공기관 구매에 한정, 저속전기차 750만 원, 고속전기차 1500만 원 지원

자료: Solar&Energy(2011)

〈표 2-9〉 국가별 전기자동차 관련 세금 감면 현황 및 계획

국가	내용
미국	- 세금 환급액 280~850만 원
일본	- 친환경 소형차 구매 시 취득세, 중량세 면제
영국	- 탄소배출량에 따라 운행세 차등 부과
독일	- 신차 구매 후 5년간 운행세 면제
프랑스	- 탄소배출량에 따라 등록세 차등 부과 - CO ₂ 60g/km 미만 차량에 대하여 €5,000 지급
오스트리아	- EV 등록세 면제
핀란드	- 탄소배출량에 따라 €20~650 지원 예정
포르투갈	- EV 등록세의 50% 면제
한국	- 차량 등록세, 취득세 및 운행단계에서 세제지원 - 탄소배출량에 따라 보너스 지급제도 마련 계획(2012) - 인센티브 부여(혼잡통행료, 공영주차장 요금, 고속도로 통행료 등)

자료: Solar&Energy(2011)

〈표 2-10〉 국가별 전기차 관련 기타 인센티브 현황

구분	주차·충전 편의성 증대		운행 편의성 증대		
	공영주차장 무료(할인)	공공충전소 무료	혼잡통행료 면제	도로통행료 면제(할인)	전용차선 이용
미국	○ (애리조나 등 3개주)				○ (캘리포니아 등 7개주)
영국			○ (런던)		○
독일	○				
프랑스	○				
오스트리아	○				
벨기에	○				
덴마크	○	○		○	
그리스		○ (일부도시)			
이탈리아	○ (할인)			○ (할인)	
네덜란드	○ (할인)				
노르웨이	○		○ (오슬로)	○	○
핀란드	○				
포르투갈	○				
스페인	○	○ (일부도시)			
스웨덴	○	○	○ (스톡홀름)		○

자료: Solar&Energy(2011)

이와 같이 다양한 투자와 지원정책이 동원되는 것을 보면 자동차 제조업체와 각국 정부는 확실히 EV가 대규모로 보급되기를 원하는 것으로 보인다. 그러나 이러한 방향으로 나아가는 데 있어서 몇 가지 장애물이 존재한다. 첫 번째, EV의 제한된 주행거리 때문에 “적절한” 자동차 운행을 위한 배터리 기술이 아직까지 대부분 검증되지 않았다는 것이다. 같은 맥락으로도 볼 수 있지만 두 번째로 중요한 사항은 인적이 드문 곳에서 배터리 방전으로 운전자의 발이 묶이게 되는 것을 방지할 수 있는 EV 충전 인프라가 부재하다는 점이다.

이러한 상황을 변화시키기 위한 노력이 이루어지고 있는데, 규모가 작은 국가들이 앞장서고 있다. 르노-닛산(프랑스/일본)이 힘을 합쳐 실리콘밸리에 Project Better Place라는 신생기업을 설립해 덴마크와 이스라엘에서 EV 시장을 처음부터 구축하려고 한다. 덴마크와 이스라엘은 모두 도시가 서로 인접해있는 인구밀도가 높은 국가이다. Project Better Place는 또한 미국의 캘리포니아·하와이 주, 포르투갈, 호주, 캐나다와 중국 등 다른 여러 국가에서 비슷한 사업을 시행하기 위해 준비하고 있다. 일본과 독일 등 자동차 산업의 선도적인 시장은 물론이고 세계 최대의 두 시장인 미국과 중국이 전기자동차 기술에 투자하고 있다는 사실이 EV개발을 성공 가능한 것으로 만드는 데 크게 도움이 될 것이다.

한편 미국, 일본, EU 등 주요 선진국들은 자동차 업체의 친환경·고효율 자동차 기술개발을 촉진하고 국제적인 규제 강화에 대응하기 위하여 자국의 기업 평균 연비 및 온실가스 배출 기준을 지속적으로 강화하는 추세이다. 우리나라도 승용차의 평균연비 기준을 2015년 17.0 km/ℓ로 설정해 놓고 있으며, 2016년 이후 기준을 보다 강화하여 일

본, EU 수준에 이르도록 할 예정이다.

우리나라는 전기자동차 개발·보급을 위해 주요 선진국들이 시행하고 있는 대부분의 제도들을 채택하고 있다. 따라서 계획된 정책들이 효과적으로 실행될 수 있느냐가 관건이 될 것이다. 이를 위해서는 정부 지원 수준의 적절성, 정책 집행 과정 상의 장애요인 등에 대한 검증과 지속적인 분석이 수반되어야 한다(최도영·이상열, 2011, p.45).

3. 세계 전기자동차 보급 동향

세계 자동차 수요는 연도별 각국의 신규 차량 등록대수를 파악해 보면 알 수 있다. 하이브리드 차량 판매의 주요 국가인 16개국을 기준으로 신규 차량 등록대수를 살펴보기로 한다. 먼저 승용차의 경우, 16개국의 신규 등록대수는 2009년 기준 34,387,390대로 전 세계 승용차 신규 등록대수(48,854,436대)의 70%를 점하고 있다.

16개국의 상용차 신규 등록대수도 11,218,876대로, 전 세계 상용차 신규 등록대수(16,308,805대)의 69%를 점하고 있다. 승용차와 상용차 전체로는 2009년 45,606,266대로 전 세계(65,163,241대)의 70%를 16개국이 점하고 있다(Solar&Energy, 2011).

미국의 경우에는 2000년에 900만 대에 가까운 승용차가 신규 등록되었으나, 2009년에는 550만 대 정도로 신규 등록대수가 감소했다. 반면에 중국의 자동차 신규 등록대수는 연평균 증가율이 36.9%에 이를 정도로 엄청난 급신장세를 보이고 있다. 각 국가별로 보면 매년 인구의 2.6% 내외에 해당하는 규모의 신규 승용차가 등록되고 있다. 상용차는 인구의 0.8% 정도가 매년 새로 등록되고 있으며, 자동차 전체로는 매년 인구의 4% 내외에 해당하는 신규 등록차량이 존재한다. 다

만, 미국의 경우에는 1인당 상용차 신규 등록대수가 다른 국가들과 비교하여 4배 이상 높은 분포를 보여주고 있다. 또한 세계에서 제일 많은 인구를 가진 중국은 승용차를 중심으로 매년 1인당 신규 차량등록대수가 꾸준히 증가하고 있다. 각 국가 별 1인당 신규차량 등록대수는 중국을 제외하고는 대부분의 경우 감소세를 보이고 있다.

2010년까지 판매된 전기자동차의 대부분은 HEV 차량이다. 2010년 판매가 시작된 GM Volt(PHEV)가 예외적이지만, 판매량은 매우 미미하다. 1999년 출시되어 판매되기 시작한 하이브리드 차량이 전체의 99% 이상을 차지한다. 2000년도에 2,400대 가량 판매되었던 하이브리드 자동차는 2010년에는 94만 대 가량 판매되었다. 이 기간 동안 매년 44%씩 성장을 하였다. 누계 기준으로는 2000~2010년 기간 동안 370만 대 이상이 판매되었다. 그리고 2011년 상반기에는 누적판매 400만 대를 돌파한 것으로 추정된다.

〈표 2-11〉 전기자동차 판매 비율

구분	2007	2008	2009	2010
세계 신규차량 등록대수	71,619,308	68,030,469	65,163,241	74,358,520
전기자동차 판매대수	504,999	504,898	738,298	940,370
전기자동차 침투율	0.7%	0.7%	1.1%	1.3%

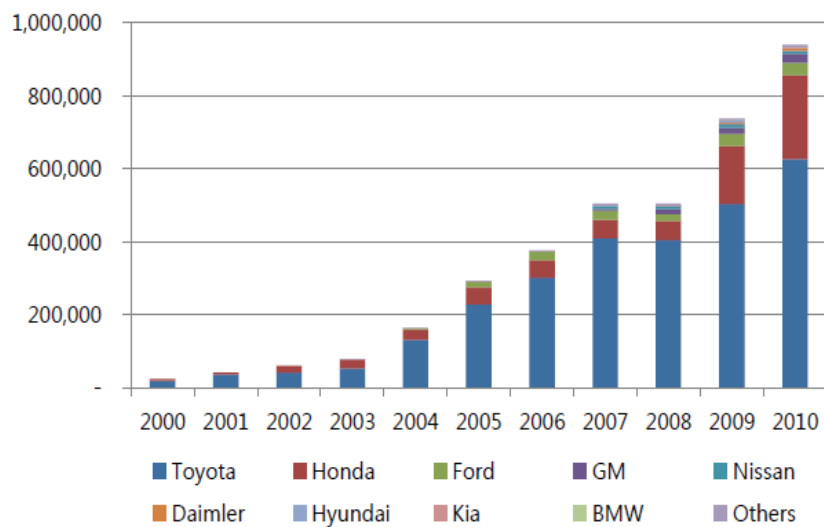
자료: Solar&Energy(2011)

그러나 전체 신규 차량 등록대수 중 전기자동차 등록대수의 점유율은 2007년 0.7%, 2008년 0.7%, 2009년 1.1%, 2010년 1.3%로 아직까지 매우 미미한 실정이다.

회사별로 보면, 전기자동차의 70% 이상은 도요타에서 판매한 것으로 나타났는데, 대표 모델인 ‘프리우스’의 비중만 하더라도 50%를 넘고 있다. 지금까지 많은 전기자동차가 판매되었지만 하이브리드 차량을 소비자들에게 확실하게 인식시킨 것은 도요타 ‘프리우스’의 공로였다고 할 수 있다. 도요타 다음으로는 혼다가 2위를 차지하고 있는데, 이들 두 회사의 전기자동차 판매량은 전체의 90% 내외를 점하고 있다. 이 두 회사에 이어서는 2004년부터 판매를 시작한 포드가 약 5% 내외를 점하고 있다.

[그림 2-9] 업체별 전기자동차 판매실적

(단위: 대)



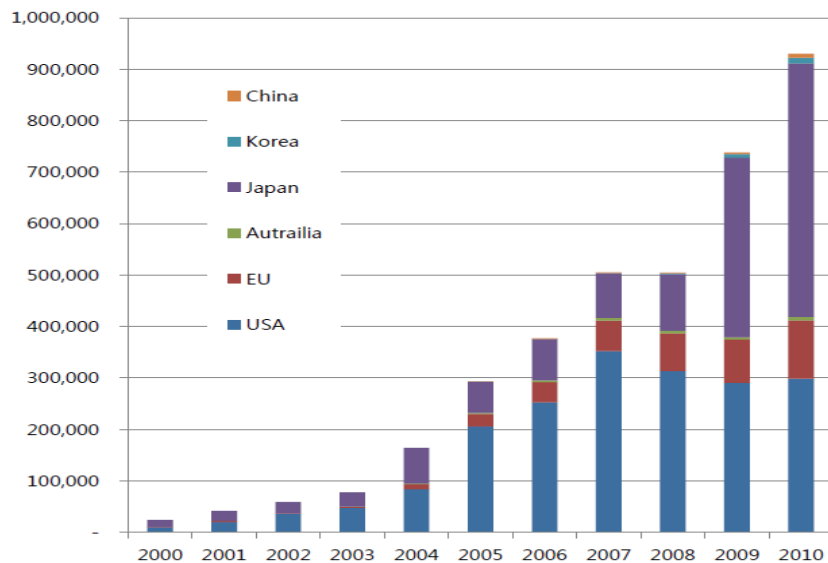
자료: Solar&Energy(2011)

그러나 2011년 8월 기준으로 미국 시장을 보면 현대 소나타 하이브리드 판매량이 월 4,100대 이상으로 프리우스 9,500대에 이어 판매 2위를 점하고 있는 것으로 보아 향후 다양한 하이브리드 차량 판매가 기대되고 있다.

2008년까지 판매된 전기자동차의 70% 정도는 미국시장에서 판매된 것이다. 그러나 2009년에는 일본 시장의 비중이 47%로 증가하여 미국의 39%와 합하면 일본과 미국에서 판매된 차량이 전체의 86%를 점한다. 다음으로는 EU가 10% 내외를 점하고 있으며, 한국시장은 1%, 호주시장 0.6%, 중국 시장 0.4% 등이다.

[그림 2-10] 국가별 전기자동차 판매실적

(단위: 대)



자료: Solar & Energy(2011)

〈표 2-12〉 전기자동차 판매 현황

(단위: 천 대)

구분	2000	2005	2006	2007	2008	2009	연평균 증가율(%)
미국	9.4	205.7	252.6	352.3	313.7	290.3	46.5
EU	0.9	24.7	39.4	59.5	73.3	84.7	65.3
호주	-	1.6	3.2	4.9	5.0	4.2	55.4
일본	13.9	60.5	80.3	86.3	109.5	348.9	43.0
한국	-	0.1	0.2	1.0	1.7	7.1	176.5
중국	-	0.0	1.3	0.9	1.7	3.2	223.2
합계	24.2	292.7	377.0	505.0	504.9	738.3	46.2
누계	24.2	659.9	1,036.8	1,541.8	2,046.7	2,785.0	-

자료: Solar & Energy(2011)

4. 전기자동차 보급 시나리오 및 전망 사례

가. Solar & Energy 전망(2011)

컨설팅회사인 ‘Solar & Energy’는 2011년 11월에 EV, PHEV, HEV를 모두 포함하는 세계 전기자동차 시장 분석보고서를 발표하였다. 시장 판도에 영향을 미치는 요인들을 식별하고, 그 요인들의 중요도를 고려하여 2020년까지의 전기자동차 수요전망을 실시하였다.

2000년대 중반 이후 전기자동차 수요를 창출한 요인 중 가장 중요한 것은 온실가스 감축과 대기환경 규제라는 힘이었다. 향후에도 자동차 연비 개선 또는 온실가스 감축이라는 규제적 요소가 전기자동차의 수요를 견인하는 중요한 요인이 될 것으로 보인다. 그렇다면 “강제적인 규제 외에 전기자동차의 수요가 시장 내에서 자연스럽게 증가할 수는 없는가?” 라고 질문한다면, 그 해답은 경제성에서 찾아야 할 것

이다. 자동차 가격, 유지보수비용, 전기요금, 각종 세제 등 자동차를 구매하여 폐기할 때까지 전 과정에서 소요되는 비용과 차량 성능에 있어서 타 연료(휘발유, 경유 등) 자동차에 비하여 경쟁력을 가져야만 한다. 성능과 비용 외에도 소비자들의 효용(utility)에 영향을 주는 다른 요소들(이용의 편리성, 차량 선택의 다양성, 안전성 등)이 전기자동차 구매를 제약하는 방향으로 작용한다면 수요는 보다 제한적으로 증가할 수밖에 없을 것이다.

소비자에게 선택의 폭을 제공하는 자동차 라인업(line-up)은 내연기관 차량에 비하여 전기자동차는 매우 제한적이다. 특히 현재 PHEV, EV 모델은 별로 선택의 여지가 없다. HEV 경우에도 50종 이상의 차종이 출시된 것으로 알려져 있지만, 여전히 선택의 폭이 좁은 것이 사실이다. Solar & Energy는 2015~2017년은 되어야 대부분의 차종에 HEV이 도입될 것이며, PHEV나 EV의 경우에는 그 시기가 보다 더 늦어질 것으로 보고 있다. 성능에 있어서도 PHEV나 EV는 충전이라는 제한적 요소를 가지고 있다.

가격에 있어서는 HEV, PHEV, EV 모두 약점이 되고 있지만 HEV는 동급 내연기관 차량 대비 20% 정도 비싼 반면에 PHEV나 EV의 경우에는 최고 3배 이상 가격차이가 발생하고 있어서 정부의 지원 없이는 수요 확대가 불가능한 형편이다. 이러한 요소들이 모두 전기자동차 수요 전망의 중요한 변수들로 작용하는데, Solar&Energy(2011)는 <표 2-13>과 같이 각 요소들에 대한 가중치를 설정하여 수요 예측의 기본 자료로 삼았다.

〈표 2-13〉 수요 요인별 가중치

구분	수준1	수준2	수준3		가중치
판매자	법	정부 정책	운행거리, 배기가스	-	-
수요자	비용	차량 가격	배터리가격	-	9
		운행비용	에너지비용 차이	휘발유가격 대 전기 요금	
			유지보수비	-	
		정부정책	보조금	-	
			세금감면	-	
	성능	충전 인프라	접근성	-	5
			충전시간	-	9
		배터리	주행거리	배터리용량	3
			배터리수명	배터리 및 캘린더 수명	1
			캘린더 수명	-	
			안전성	-	9
	선택의 폭	차량 모델 수	-	라인업	7
	기타	인센티브	-	-	3

자료: Solar & Energy(2011)

2020년 전기자동차(EV, PHEV, HEV) 세계 수요는 전체 차량의 19%에 이를 것으로 전망된다. 전 세계 전기자동차 수요는 2010년 94만 대에서 2015년 408만 대, 2020년 1,730만 대 규모에 도달할 것으로 예상된다. 2010~2020년 기간의 연평균증가율은 33.8%로 예상된다.

Solar & Energy(2011)에 따르면 국가별로는 2020년 기준으로 일본이 전체 신규 차량 중 53%인 230만 대를 전기자동차로 판매할 것으로 예상된다. 미국이 점유율 약 31% 수준에 390만 대 수준, EU가 점유율 30%로 436만 대, 한국이 40%로 62만 대, 호주가 25%로 27만 대, 중국이 12%로 360만 대를 판매할 것으로 예측하였다.

〈표 2-14〉 국가별 전 세계 전기자동차 판매 전망

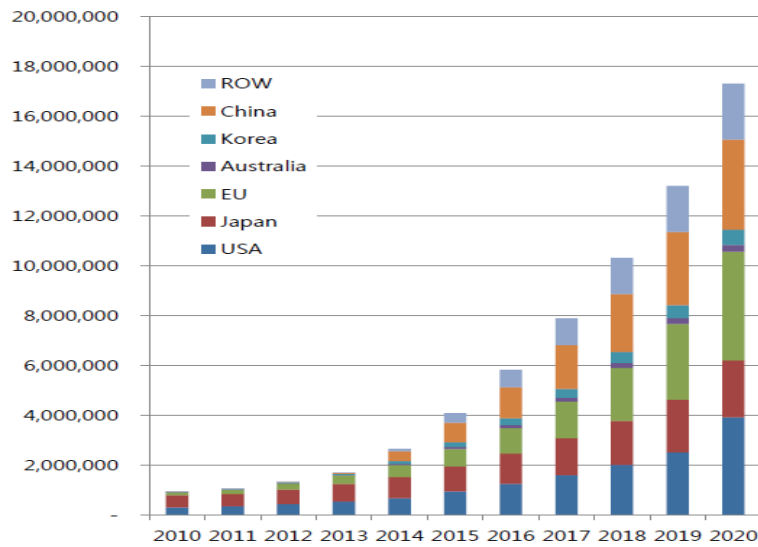
(단위: 천 대)

구분	2010	2012	2014	2016	2018	2020	연평균 증가율(%)
미국	299	429	669	1,240	2,013	3,910	29.3
일본	493	594	844	1,220	1,764	2,289	16.6
EU	114	234	484	1,020	2,123	4,360	44
호주	7	13	50	118	192	266	44.8
한국	11	24	114	276	444	615	49.7
중국	7	61	449	1,284	2,339	3,612	85.8
기타	11	19	93	711	1,457	2,250	71
합계	940	1,376	2,704	5,870	10,333	17,302	33.8

자료: Solar&Energy(2011)

[그림 2-11] 국가별 전기자동차 판매 전망

(단위: 대)



자료: Solar&Energy(2011)

전기자동차 기술별로는 2020년 기준으로 하이브리드차가 전체의 77%(1,325만 대)를 차지할 것으로 예상되며, PHEV는 13%(225만 대), 순수전기차는 10%(180만 대) 정도를 점유할 것으로 예측하였다.

HEV는 현재 동급 내연기관 차량에 비하여 약 20% 비싸지만 5년 정도 운행하게 되면, 내연기관 차량보다도 총 비용이 감소할 것으로 예상하였다. 이는 석유 가격이 높은 국가일수록, 연간 주행거리가 긴 소비자일수록 더 크게 나타날 것이다. 다만 현재의 문제점은 소비자들이 선택할 수 있는 차종이 그리 많지 않다는 데 있다. 그러나 2015~2017년까지는 대부분의 자동차 업체가 자사 차량의 전 차종 또는 대부분의 차종을 HEV화 할 것으로 예상되므로, 2015년 이후의 HEV 판매량은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

도요타는 2015년까지 자사 전 차종에 HEV를 선택적으로 구매할 수 있도록 할 계획이라고 밝힌 바 있으며, 현대자동차도 대부분의 인기 차종은 모두 HEV화 할 계획이라고 한다. 따라서 HEV의 경우에는 일부 지원(세제, 보험 등)이 없더라도 내연기관 차량과 경쟁이 가능하다고 판단된다.

그러나 PHEV와 EV 경우에는 사정이 좀 다르다. 이들은 전력망으로부터의 충전이 필요한 차량으로, 충전 인프라 문제가 해결되어야 한다. 충전 인프라는 특성상 대도시와 같은 인구 밀집지역을 중심으로 보급될 수밖에 없기 때문에, 특히 국토 면적이 넓은 국가에서 충전 인프라를 갖추는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 PHEV와 EV의 보급에는 상대적으로 긴 시간이 소요될 것이다.

〈표 2-15〉 기술별 전 세계 전기자동차 판매 전망

(단위: 천 대)

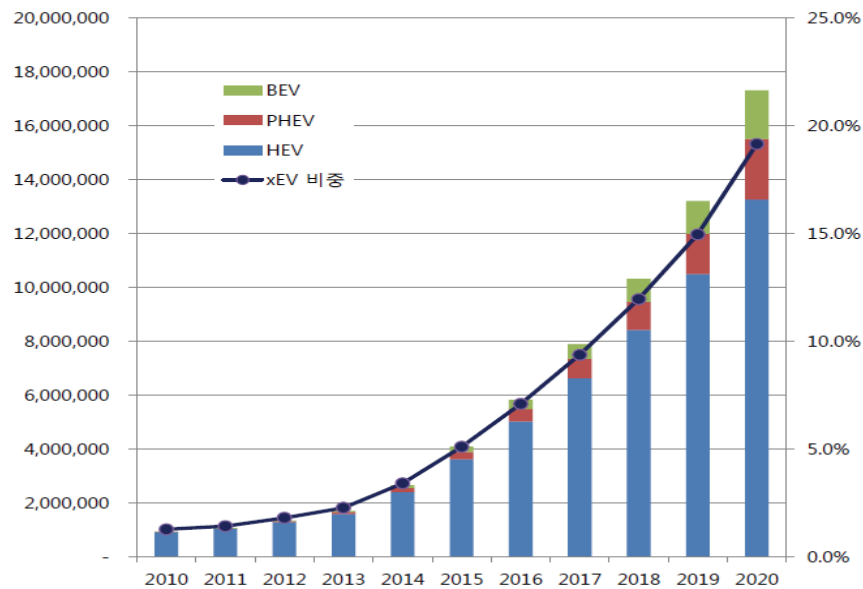
구분	2010	2012	2014	2016	2018	2020	연평균 증가율(%)
HEV	916	1,275	2,395	5,021	8,419	13,252	30.6
PHEV	0.3	41	151	458	1,037	2,253	142.1
EV	0.0	23	98	347	852	1,797	193.4
합계	917	1,339	2,644	5,825	10,308	17,302	34.1

주: <표 2-14> 국가별 판매전망과 합계가 일치하지 않는 문제가 존재함. 따라서 연평균 증가율에서도 차이를 보임.

자료: Solar&Energy(2011)

[그림 2-12] 기술별 전기자동차 판매 전망

(단위 : 대)



주: BEV는 순수 전기자동차를 의미, xEV는 전기자동차 전체를 의미함.

자료: Solar&Energy(2011)

또 EV, PHEV의 가격은 배터리 가격이 하락한다고 해도 여전히 내연기관과 HEV에 비해서는 비쌀 것이다. 각국 정부가 연비와 온실가스 등 배기가스 배출을 엄격하게 규제하지 않으면, 시장에서 이들 차량이 우선적으로 판매되기는 쉽지 않을 것이다. 국가의 지원이 있다고 하더라도 내연기관 또는 HEV 차량보다 가격이 비싼 상황은 분명히 지속될 것이다.

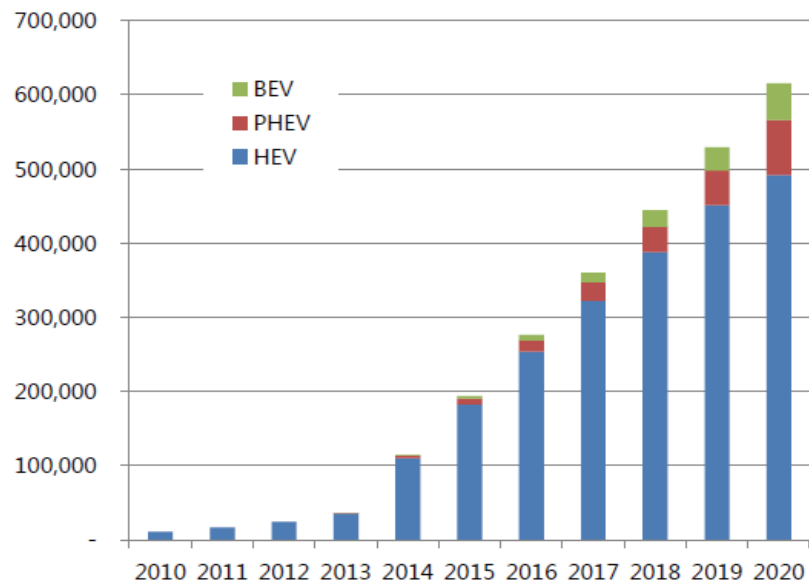
EV 경우에는 이 외에도 주행거리에 제한 요소가 존재한다. 물론 배터리를 많이 탑재하면 주행거리는 길어지겠지만, 차량 가격이 상승하고, 충전시간이 길어지는 문제가 발생한다. 따라서 합당한 용량의 배터리를 탑재한다고 가정하면, 1회 충전 시 주행거리는 1,000km를 달릴 수 있는 경쟁차종들의 1/5에도 미치지 못한다.

물론 주행 가능거리가 짧다는 것은 자동차 이용자들의 일일 평균 주행거리가 100km 이내라는 점을 고려하면, 큰 약점이 아닐 수도 있다. 그러나 간헐적으로 장거리를 주행해야 하는 상황이 발생하게 되면, 순수 전기자동차를 보유한 소비자들은 대중교통 수단을 이용하거나, 다른 승용차를 빌려야 하는 불편함을 감수해야 한다. 이러한 점을 고려하면 EV를 가족의 주 차량으로 선택하기는 쉽지 않을 것으로 판단된다. EV를 세컨드 카로 고려한다고 하더라도, 주 차량보다 더 비싼 세컨드 카를 구매하려는 소비자들은 그리 많지 않을 것이다.

이상에서 설명한 제약 요인들을 극복하지 않으면 PHEV나 EV 수요가 증가하기는 쉽지 않을 것이다. 기본적으로 전기자동차 수요는 각국의 환경규제로부터 형성된다고 전제할 때, 2020년까지 규제 목표치를 훨씬 상회하는 HEV 차량들이 개발될 것으로 예상할 수 있으므로 당분간 전기자동차 수요는 하이브리드차가 주도할 것으로 전망된다.

[그림 2-13] 우리나라 기술별 전기자동차 판매 전망

(단위: 대)



주: BEV(Battery Electric Vehicle)는 순수 전기자동차를 의미함.

자료: Solar&Energy(2011)

Solar&Energy는 우리나라의 전기자동차 수요에 대한 예측치도 제시하였다. 이 전망에 의할 경우, 우리나라는 2015년에 20만 대, 2020년에 약 62만 대의 전기자동차 수요가 있을 것으로 예상된다. Solar&Energy는 우리나라의 경우도 역시 HEV가 시장을 견인할 것으로 전망하고 있다.

〈표 2-16〉 우리나라 기술별 전기자동차 판매 전망

(단위: 천 대)

구분	2010	2012	2014	2016	2018	2020	연평균 증가율(%)
HEV	10.9	24.3	110.2	253.9	388.2	492.2	46.4
PHEV	0.0	0.0	3.0	14.7	33.6	73.8	124.9
EV	0.0	0.0	1.3	7.9	22.4	49.2	139.5
합계	10.9	24.3	114.5	276.4	444.2	615.3	49.7

주: PHEV와 EV는 2013년부터 판매가 시작될 것으로 예상. 판매대수는 PHEV 254대, EV는 109대. PHEV와 EV의 연평균 증가율은 2013~2020년 기간에 대한 것임.

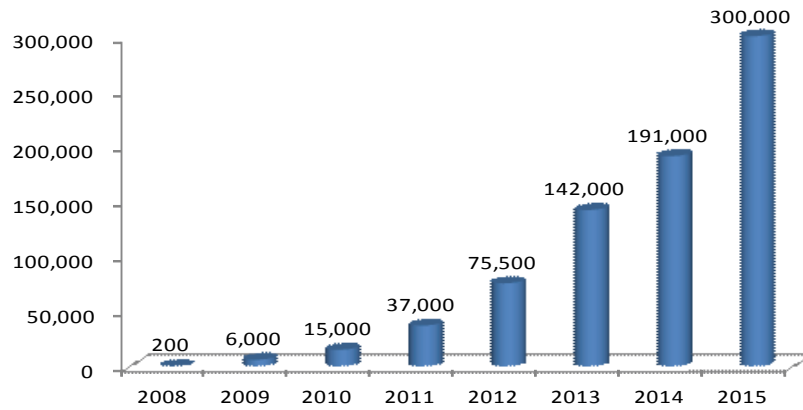
자료: Solar&Energy(2011)

나. HIEDGE 전망

일본의 하이테크 기술 조사전문 컨설팅업체인 HIEDGE는 순수 전기자동차와 수소 연료전지 자동차가 상용화되기 전까지는, 플러그인 하이브리드차가 클린디젤차와 더불어 기존의 하이브리드차를 대체하면서 그린카 시장을 주도해 나갈 것이라고 주장하였다(최도영·이상열, 2011, p.47).

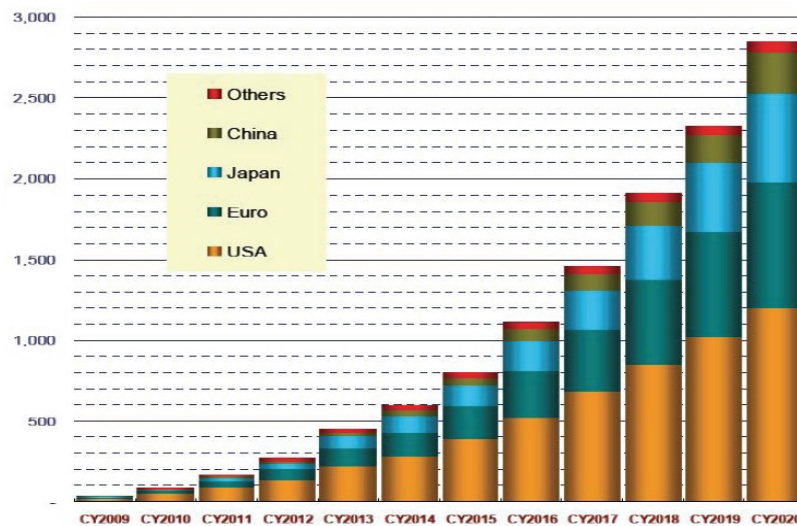
HIEDGE에 따르면, 플러그인 하이브리드차는 2015년까지 30만 대가량이 보급될 전망이며, 2015년 이후에는 순수 전기차 시장이 본격적으로 형성될 것이라고 한다. 이 회사는 자동차업체들의 다양한 순수 전기차 모델 개발과 정부의 적극적인 보급 장려로 인하여 세계 순수 전기자동차 시장이 2020년에 280만 대 수준으로 성장하고, 2050년에는 판매되는 신차 중 최대 30%를 순수 전기차가 점유할 것으로 전망하였다(지식경제부·한국에너지기술평가원, 2011).

[그림 2-14] 플러그인 하이브리드차 보급 추이 및 전망
(단위: 대)



자료: HIEDGE, 최도영 · 이상열(2011)의 p.18 [그림 2-4] 재인용

[그림 2-15] 전기자동차 보급 전망
(단위: 천 대)



자료: HIEDGE, 최도영 · 이상열(2011)의 p.20 [그림 2-5] 재인용

다. IEA 전망(2011)

IEA는 그린카에 대해 각국이 계획하고 있는 연구개발 및 보급 지원 정책이 차질 없이 이행된다는 시나리오 설정을 통해 세계 전기자동차 시장 수요를 예측하였다. 이 시나리오를 ‘블루맵 시나리오’(BLUE map scenario)라고 칭하는데,¹⁹⁾ 각국 정부가 이미 발표한 탄소 저감 정책은 물론 향후에도 적극적인 온실가스 감축 노력을 이행함으로써, 2050년의 전 세계 CO₂ 배출량이 2005년의 절반 수준으로 줄어드는 상황을 가정한다.

IEA는 2015~2020년 기간을 순수 전기차와 플러그인 하이브리드차가 본격적으로 성장하는 시기로 보고, 이 기간 동안 이들 차량의 수요가 연평균 47%의 속도로 증가할 것으로 전망하였다. 또한 각국의 전기자동차 육성 정책이 2020년 이후에도 지속적으로 이행된다면, 2050년경에는 순수 전기차와 플러그인 하이브리드차가 각각 5,000만 대씩 판매될 것이라고 예측하였다. 이 수치는 IEA가 예상하고 있는 2050년 세계 경량 자동차 시장의 50%를 상회하는 것이다. 반면, 전통 내연기관 승용차의 판매 비중은 10% 수준에 머물 전망이다.

〈표 2-17〉 블루맵 시나리오의 세계 EV 및 PHEV 판매량

(단위: 백만 대)

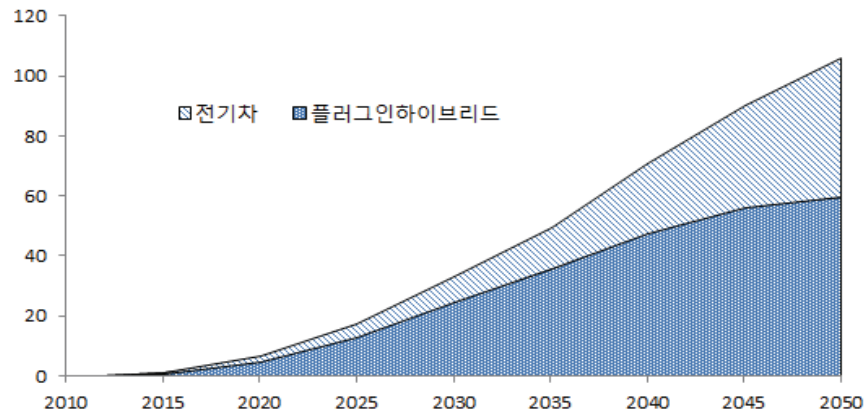
구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PHEV	0.0	0.7	4.9	13.1	24.6	35.6	47.7	56.3	59.7
EV	0.0	0.3	2.0	4.5	8.7	13.9	23.2	33.9	46.6
합계	0.0	1.1	6.9	17.7	33.3	49.5	70.9	90.2	106.4

자료: IEA(2011)

19) IEA의 ‘2010 에너지기술전망(Energy Technology Perspective)’의 저탄소 시나리오를 의미한다.

[그림 2-16] PHEV 및 EV 연간 판매량 전망(IEA 블루맵 시나리오)

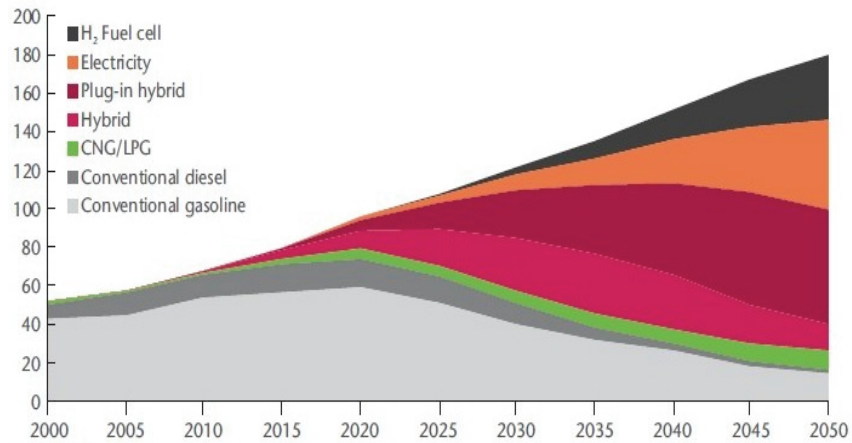
(단위: 백만 대)



자료: IEA(2011), 최도영 · 이상열(2011)의 p.49 [그림 2-12] 재인용

[그림 2-17] 경량 자동차 연간 판매량 전망(IEA 블루맵 시나리오)

(단위: 백만 대)



자료: IEA(2011), 최도영 · 이상열(2011)의 p.49 [그림 2-13] 재인용

라. Global Data 전망(2012)

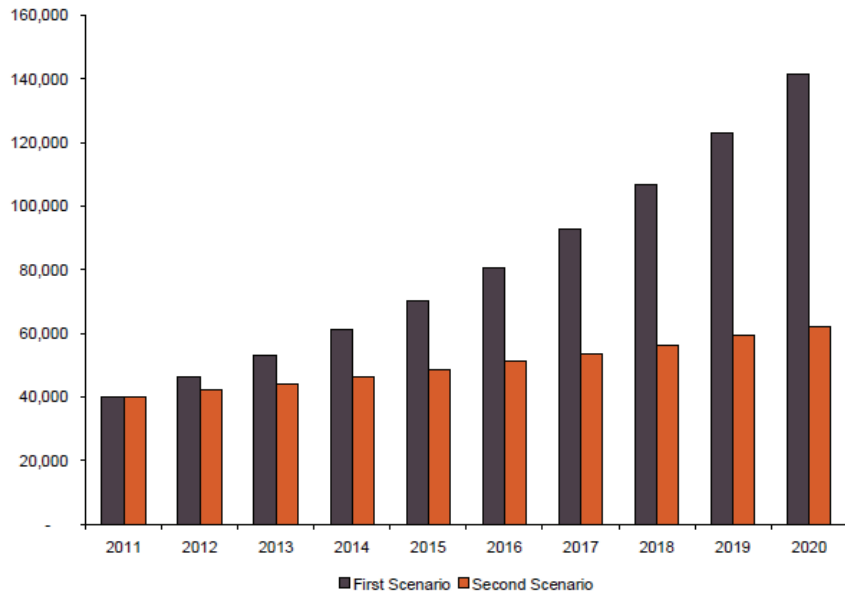
GlobalData(2012)는 순수 전기자동차(EV 또는 BEV) 시장을 분석 대상으로 삼았다. 동 사는 2011년 세계 순수 전기자동차 판매량을 약 4만 대 수준으로 추정하고, EV 시장이 도입기에 있는 것으로 평가하였다. ‘GlobalData’는 향후 EV 시장은 다양한 요인의 영향을 받게 될 것인데, 정부의 지원정책이 2012~2020년 기간 동안 EV 시장 성장을 결정하는 핵심 요인이라고 하였다. 따라서 2012년 8월 발표된 ‘GlobalData’의 순수 전기차 시장 전망은 정부 지원이라는 관점에서 두 가지 시나리오를 상정하였다.

첫 번째 시나리오는 정부가 EV 공급업체들과 소비자들을 꾸준히 지원하자는 안이다. 두 번째 시나리오에서는 EV 공급업체들과 소비자들에게 정부 지원이 제공되지 않거나 최소한으로만 제공된다고 가정한다. EV 보급의 주요 원동력이 되고 있는 금전적 또는 비금전적 인센티브 제도와 자금지원 프로그램이 지속적으로 제공된다면, 전 세계 EV 시장은 2011~2020년 기간 동안 매년 15%씩 성장하여 2020년에는 141,260대가 될 것으로 예상된다.

두 번째 시나리오는 EV 제공업체들과 소비자들에게 주어지는 정부 지원이 최소한의 수준이거나 없다고 가정한다. 이 시나리오에서는 EV 시장이 2011~2020년 기간 동안 연평균 5%로 성장하여 2020년에 62,294대가 될 것으로 전망된다. EV 보급 활성화를 위해서는 적절한 충전 인프라 확충과 전기차에 대한 소비자들의 인식 제고가 필요한데, GlobalData는 정부의 충전 인프라 개발 지원과 금전·비금전적 인센티브 제도의 도입이 소비자들로 하여금 EV를 선택하게 하는 가장 중요한 요인이라고 주장하였다.

[그림 2-18] 순수 전기자동차(EV) 판매 전망

(단위: 대)



자료: Global data(2012)

제3장 국내 전기자동차 시장 전망

1. 전망 개요 및 시나리오 설정

전기자동차가 에너지수급과 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 전기자동차가 시장에 어느 정도나 보급될 것인지를 예측하는 것이 선결 과제이다. 우리나라의 전기자동차 시장규모를 전망하기 위해서는 두 단계의 과정이 필요하다. 첫 번째는 우리나라의 전체 승용차 시장 규모(총 등록대수)와 매년도의 신규 판매대수를 예측하는 것이다. 다음으로 전기자동차 종류별로 연간 신규 판매 점유율을 알아야 한다. 즉, 전기자동차가 기존 내연기관 승용차를 얼마나 대체할 것인가에 대한 전망이 필요하다.

그러나 전기자동차의 판매점유율을 예측하는 것은 매우 어려운 작업이다. 왜냐하면 순수 전기자동차는 현재 정부 및 공공기관을 대상으로 보급이 시작되는 단계에 있어 실제 시장 판매 자료가 존재하지 않기 때문이다. 일반 소비자들은 제주도 스마트그리드 실증단지나 수도권에서 시행되고 있는 차량 공동이용(car sharing) 등 일부 시범사업을 통해 제품의 서비스를 체험할 수 있을 뿐이다. 또한 하이브리드 승용차에 대한 시장판매 자료는 분석하기에 너무 짧다. 따라서 두 번째 단계의 연구는 시장 데이터가 존재하지 않는 상황에서 적용가능한 방법론을 이용하여야 한다. 그럼에도 불구하고 전기자동차 판매 점유율 예측이 쉽지 않기 때문에, 대부분의 선행연구들은 정부의 보급 목표나 전문가들의 판단에 근거한 시나리오 설정을 통해 시장 점유율 전망자

료를 추정하고 있다.

본 연구는 단순히 전기차 시장 점유율을 가정하는 방식을 채택하지 않고, 계량경제학적인 분석 방법을 적용하여 전기자동차의 종류별, 차급별 판매 점유율을 예측하고자 한다. 전기자동차, 특히 배터리와 모터로만 구동되는 순수전기차는 내연기관 자동차와 같이 엔진 배기량 기준으로 차급이 구분되지 않지만, 향후 다양한 배터리 용량을 가진 모델들이 개발된다고 볼 때, 다양한 차급에서 기존 내연기관 승용차를 대체할 것이다. 따라서 본 연구에서는 분석 결과의 신뢰성을 높이기 위해 차급별로 시장을 세분하여 전기자동차의 판매 점유율을 예측한다. 이 점은 기존의 선행 연구들과 차별화되는 부분 중의 하나이다.

우선 승용차 시장규모 전망을 위해 국토해양부의 자동차 등록통계 분류에 따라 승용차를 비사업용과 사업용으로 구분하여 접근한다. 비사업용은 자가용과 관용으로 구성되어 있고, 사업용(본 연구에서는 택시 제외)은 렌트, 리스 등 영리를 주요 목적으로 하는 용도이다. 이렇듯 승용차 등록대수 예측을 두 개의 시장으로 구분하여 접근하는 이유는 각 용도별 승용차 시장의 성숙도의 차이로 자동차 등록 시계열 자료의 특성이 다르기 때문이다. 비사업용 승용차 시장은 성숙단계에 있으나, 사업용 승용차 시장은 확장 단계에 있으므로 다른 예측 방법을 적용할 필요가 있다. 사업용 승용차는 2011년 기준으로 비사업용 승용차 등록대수의 1%에도 미치지 못하기 때문에 무시할 수도 있는 수준이나, 전기자동차가 렌터카 등 사업용으로도 보급될 예정이므로 분석 범위에 포함하는 것이 합리적이다.

승용차 시장에 대한 전망은 기본적으로 KEEI-EGMS(KEEI Energy & Greenhouse Gas Modeling System)²⁰⁾의 수송부문 모형을 이용한

다. KEEI-EGMS는 승용차 등록대수를 국토해양부 자동차등록통계의 연료별 구분으로만 전망하므로, 본 연구는 동 모형을 목적에 맞게 연료별, 기술별, 차급별로 확장하여 이용한다.

승용차 등록대수 전망은 세 가지 시나리오로 진행한다. 첫 번째는 기준안으로서 EV 및 PHEV 등 충전을 필요로 하는 전기자동차 및 관련된 충전 인프라가 현 수준에서 더 이상 보급되지 않는 시나리오이다. 즉, 기준안에서는 하이브리드 승용차를 제외한 전기자동차는 상용화되지 않는다고 가정한다. 두 번째는 전기자동차가 곧 상용화되어 시장에 보급되는 안으로, GlobalData(2012)의 연구와 유사하게 정책 및 시장 환경에 따라 다시 두 가지 시나리오로 구분하였다. 보급안 I은 전기자동차 기술발전이 이루어지고, 충전 인프라 확충도 진행되나, 세제지원 등 민간부문에 대한 정부의 지원이 없는 경우를 가정하였다. 보급안 II는 민간부문에 대한 정부의 세제지원이 지속되고, 기술개발이 빠르게 진행되어 전기자동차용 배터리 가격이 현재 수준 대비 2035년에 50% 하락하는 안이다.

2. 승용차 등록 추이

가. 비사업용 승용차

전기자동차 등을 포함하는 우리나라 승용차 시장에 대한 수요전망을 하기 위해서는 승용차 시장규모에 대한 동향을 파악할 필요가 있다. 비사업용(자가용 및 관용) 승용차 등록대수는 2011년 말 기준으로

20) KEEI-EGMS는 20년 이상의 장기 에너지 및 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 전망하기 위하여 에너지경제연구원에서 개발한 전망시스템이다.

13,626천 대를 기록하였다. 배기량별 보유구조를 보면, 경형(1,000cc 미만)이 9.0%, 소형(1,000~1,500cc) 14.9%, 중형(2,000cc 미만) 51.0%, 대형(2,000cc 이상)은 25.1%를 점유하고 있다. 1993년 이후 배기량별 승용차 등록대수 증가 속도는 대형이 연평균 15.3%로 가장 빠른 것으로 나타났으며, 중형도 12.1%의 빠른 증가세를 보였다. 중·대형 승용차의 빠른 증가세는 소득 증가와 큰 자동차를 선호하는 우리나라의 자동차 이용 문화의 영향인 것으로 판단된다.

〈표 3-1〉 배기량별 비사업용 승용차 등록대수

(단위: 천 대)

구분	1993	2000	2005	2011	연평균 증가율(%)			
					93-00	00-05	05-11	93-11
1,000cc 미만	139 (3.4)	661 (8.5)	780 (7.2)	1,225 (9.0)	24.9	3.4	9.5	12.8
1,500cc 미만	2,786 (68.4)	3,986 (51.0)	3,581 (33.2)	2,030 (14.9)	5.2	-2.1	-10.7	-1.7
2,000cc 미만	889 (21.8)	2,488 (31.8)	4,258 (39.5)	6,952 (51.0)	15.8	11.3	10.3	12.1
2,000cc 이상	262 (6.4)	678 (8.7)	2,160 (20.0)	3,418 (25.1)	14.6	26.1	9.6	15.3
전기(EV)	0	0	-	0.3	-	-	-	-
합계	4,076 (100.0)	7,814 (100.0)	10,778 (100.0)	13,626 (100.0)	9.7	6.6	4.8	6.9

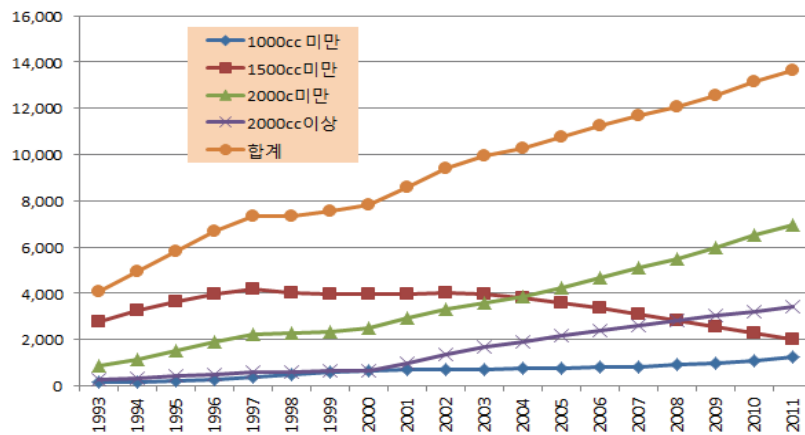
주: 1) 전기자동차 등록대수는 1993년 1대, 2000년 4대, 2005년 0대, 2011년 332대

2) ()안은 점유율(%)

경형 승용차 등록대수는 2000~2006년 기간 동안에는 완만하게 증가하였으나, 이후 빠른 상승세로 전환되고 있다. 이는 유가의 지속적인 상승에 따른 고연비 자동차 선호, 세컨드카 증가 등이 주 요인인 것으로 보인다. 반면, 소형 승용차 등록대수는 2002년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보여, 승용차 보유에 있어서 양극화 현상이 나타나고

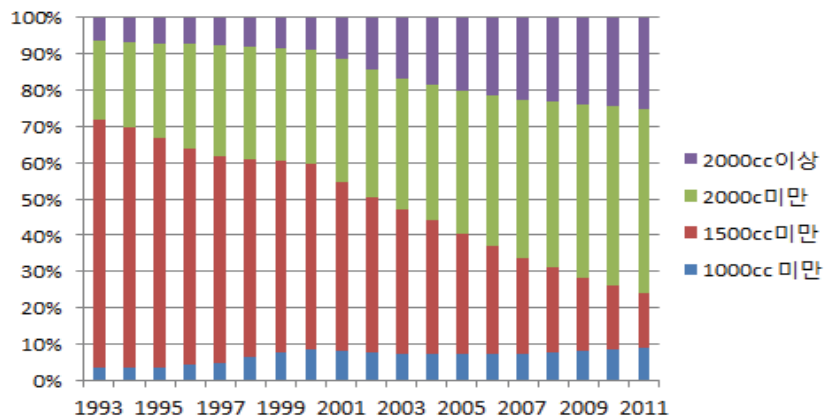
있다. 경형 승용차의 비중이 상대적으로 낮다는 점을 감안하면, 우리나라 승용차 보유의 중·대형화 추세가 지속되고 있다고 할 수 있다.

[그림 3-1] 배기량별 비사업용 승용차 등록대수 추이
(단위: 천 대)



자료: 국토해양통계누리(<https://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

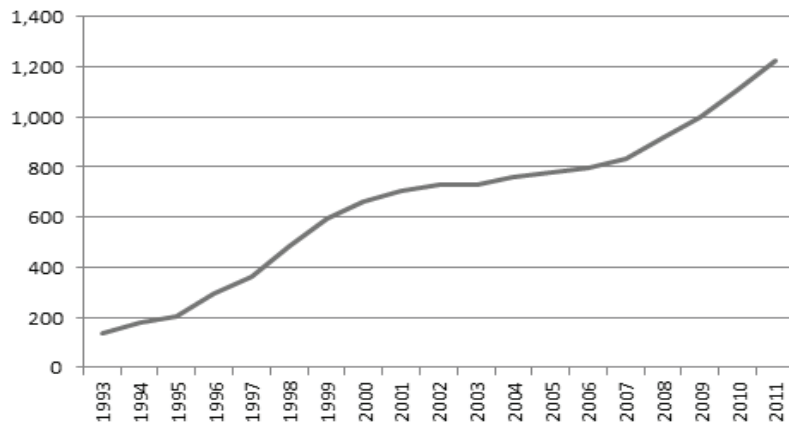
[그림 3-2] 배기량별 비사업용 승용차 보급 비중



자료: 국토해양통계누리(<https://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

[그림 3-3] 경형 승용차 등록대수 추이

(단위: 천 대)



자료: 국토해양통계누리(<https://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

비사업용 승용차를 연료별로 구분해 보면 휘발유, 경유, LPG 승용차가 2011년 말 기준 전체의 각각 66.5%, 21.8%, 11.4%를 차지하고 있다. 1993년 이후의 증가 속도는 LPG 승용차가 가장 빠른 것으로 나타났으나, 2000년 대 중반 이후 증가세가 급격히 둔화되고 있다. 휘발유 승용차 등록대수는 1993년 이후 연평균 4.8%의 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, 경유 승용차는 2000년 이후 등록대수 증가 속도가 가장 빠르다.

〈표 3-2〉 연료별 비사업용 승용차 등록대수

(단위: 천 대)

구분	1993	2000	2005	2011	연평균 증가율(%)			
					93~00	00~05	05~11	93~11
휘발유	3,892 (95.5)	7,137 (91.3)	7,738 (71.8)	9,063 (66.5)	9.0	1.6	3.2	4.8
경유	172 (4.2)	396 (5.1)	1,952 (18.1)	2,969 (21.8)	12.7	37.6	8.7	17.2
LPG	6 (0.2)	279 (3.6)	1,086 (10.1)	1,552 (11.4)	71.4	31.2	7.4	35.6
하이브리드 (휘발유 +전기)	-	-	-	22 (0.2)	-	-	-	-
하이브리드 (LPG+전기)	-	-	-	14 (0.1)	-	-	-	-
CNG/LNG	-	-	0.03 (0.0)	3.1 (0.0)	-	-	-	-
기타	6.1 (0.2)	1.2 (0.0)	2.1 (0.0)	2.0 (0.0)	-20.6	11.9	-1.6	-6.1
전기(EV)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	-	0.3 (0.0)	21.9	-100.0	-	38.1
합계	4,076 (100.0)	7,814 (100.0)	10,778 (100.0)	13,626 (100.0)	9.7	6.6	4.8	6.9

주: 1) 기타자동차는 등유·알코올·태양열·기타의 합계

2) 08~11년 하이브리드(휘발유+전기) 자동차 연평균 증가율은 83.1%

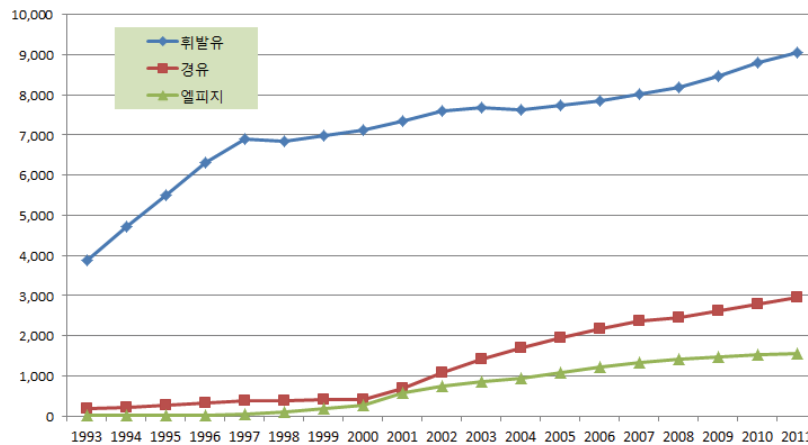
09~11년 하이브리드(LPG+전기) 자동차 연평균 증가율은 61.6%

3) ()안은 점유율(%)

자료: 국토해양통계누리(<http://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

[그림 3-4] 연료별 비사업용 승용차 보급 추이

(단위: 천 대)

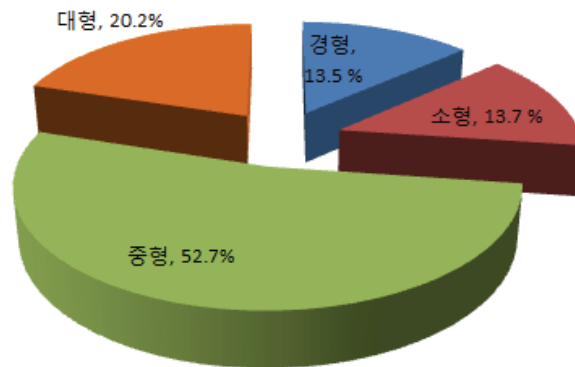


자료: 국토해양통계누리(<http://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

2011년도 연료별 비사업용 승용차 보급실적을 차급별로 세분해 보면²¹⁾, 연료별로 뚜렷한 특징이 나타나고 있다. 휘발유 승용차는 타 연료에 비해 상대적으로 경·소형(27.2%)의 비중이 높은 반면, 경유차는 중·대형(98.7%) 차량이 대부분을 차지하고 있다. 이는 우리나라 경유 승용차가 일반형보다는 중·대형 SUV(Sports Utility Vehicle) 차량 중심으로 보급되고 있음을 말해준다. 한편 LPG 승용차는 중형(82.5%) 승용차가 압도적인 비율을 차지하고 있다.

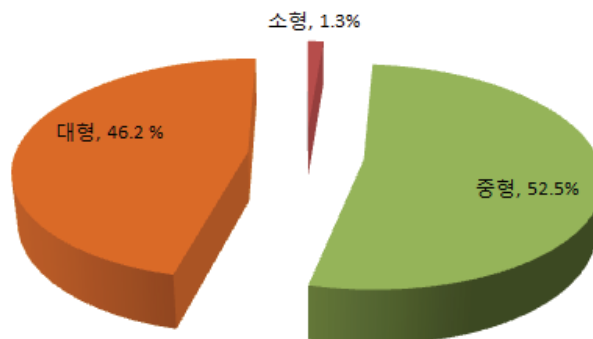
21) 국토해양부에서 발표하는 자동차 등록통계는 연료별 자동차 등록대수를 배기량 크기별로 세분하여 제공하지 않는다. 본 연구 수행을 위해 연료별, 차급별로 세분된 최근 2개년도의 승용차 등록통계를 교통안전공단으로부터 입수하여 활용하였다.

[그림 3-5] 비사업용 휘발유 승용차 차급별 비중(2011년)



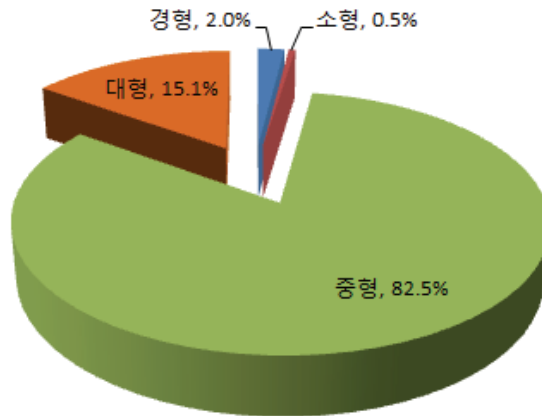
자료: 교통안전공단 내부자료

[그림 3-6] 비사업용 경유 승용차 차급별 비중(2011년)



자료: 교통안전공단 내부자료

[그림 3-7] 비사업용 LPG 승용차 차급별 비중(2011년)

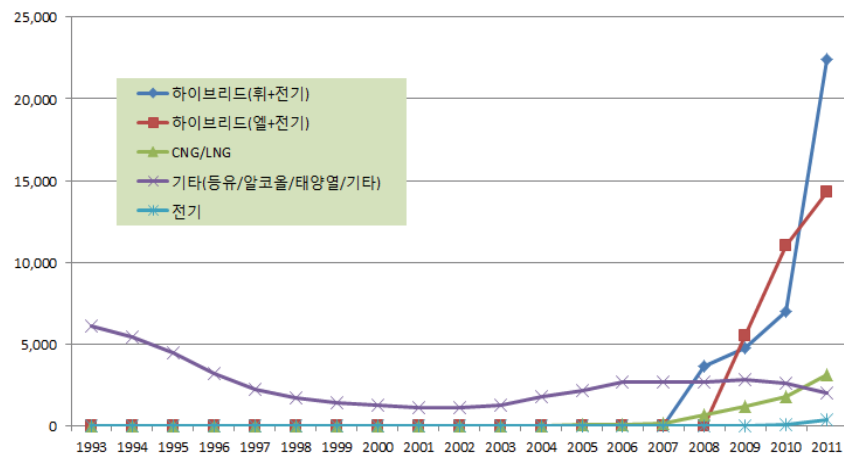


자료: 교통안전공단 내부자료

2000년대 중반 이후 판매되기 시작한 하이브리드 승용차는 최근 등록대수가 가파른 증가세를 보이고 있다. 2011년 말 현재 36,667대가 등록되었으며, 2012년 1~8월에도 판매량이 전년 동기 대비 74.5%(2만984대)나 증가한 것으로 보고되고 있다. 휘발유와 전기를 에너지원으로 사용하는 하이브리드 차의 점유율이 전체의 61.0%이며, LPG와 전기를 사용하는 하이브리드 차는 39.0%를 점유하고 있다. CNG 및 LNG 승용차는 2003년부터 보급이 시작되었으나, 2011년 말 기준으로 총 등록대수는 3,144대로 미미한 수준이다. 순수 전기 승용차는 보급 초기 단계로, 등록대수는 2010년 61대에 이어 2011년 332대를 기록하였다.

[그림 3-8] 연료별 비사업용 승용차 보급 추이(기타)

(단위: 대)



자료: 국토해양통계누리(<http://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

나. 사업용 승용차

사업용 승용차 등록대수는 2011년 말 기준 12만7천 대로 집계되었다.²²⁾ 사업용 승용차는 1993~2011년 기간 동안 연평균 18%의 높은 증가율을 기록하여 시장이 빠르게 성장하고 있다. 연료별로 구분하면 1993~2011년 기간 동안 경유 승용차가 연평균 34.6%로 가장 빠른 증가세를 보였다. 휘발유 승용차의 점유율은 2005년까지는 감소하였으나 이후 증가추세로 돌아섰으며, 반대로 경유차는 2005년 이후 비중이 감소하고 있다. 2008년부터 보급이 시작된 하이브리드(휘발유엔진) 자동차는 2011년 기준으로 280대가 등록된 것으로 나타났다.

22) LPG 승용차의 대부분을 택시가 차지하고 있기 때문에 사업용 승용차에서 LPG 차량(약 38만 대)을 제외하였다. 택시는 운행 특성상 수시로, 짧은 시간 내에 충전을 해야 하므로 2035년 이내에 전기자동차로 대체될 가능성은 거의 없을 것으로 판단된다.

〈표 3-3〉 연료별 사업용 승용차 등록대수

(단위: 천 대)

구분	1993	2000	2005	2011	연평균 증가율(%)			
					93~00	00~05	05~11	93~11
휘발유	6 (95.2)	17 (87.9)	33 (69.6)	91 (71.6)	15.8	13.6	22.7	16.1
경유	0.2 (2.5)	2 (12.1)	14 (30.4)	35 (27.4)	46.3	43.2	19.5	34.6
하이브리드 (휘발유+전기)	-	-	-	0.3 (0.0)	-	-	-	-
CNG/LNG	-	-	-	0.9 (0.0)	-	-	-	-
기타	0.1 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	-	-	-	-	-
전기	-	0.001 (0.0)	0.004 (0.0)	0.003 (0.0)	-	-	-	-
합계	6 (100.0)	20 (100.0)	47 (100.0)	127 (100.0)	17.2	19.1	22.0	18.0

주: 기타자동차는 등유·알코올·태양열·기타의 합계. ()안은 점유율(%)

자료: 국토해양통계누리(<http://stat.mltm.go.kr>), 국토해양부

3. 전체 승용차 시장 전망

가. 방법론²³⁾

1) 비사업용 승용차

비사업용 승용차 등록대수는 인구를 차량 1대당 인구수 전망치로 나누어 예측하는 방식을 취한다.

23) “장기 에너지 및 온실가스 전망 시스템·수송부문” 매뉴얼을 기반으로 재작성

$$STKVHC = \frac{POP}{POPVHC} \quad (3-1)$$

STKVHC: 전망 시점의 자동차 등록 대수

POP: 인구수

POPVHC: 대당 인구수

인구 전망치는 ‘2010년 인구주택총조사’가 반영된 통계청의 인구 추계 전망치를 활용하며, 1대당 인구수 전망은 고펜퍼츠 함수(Gompertz function)를 이용한다. 본 연구에서는 대당 인구수에 영향을 미치는 독립변수가 시간이 아니라 일인당 소득을 사용한다는 점에서 일반적인 고펜퍼츠 확산함수 추정방식과 차이가 있다. 즉, 대당 인구수는 시간이 아닌 일인당 소득에 의해 결정된다고 가정한다. 자동차의 보유는 일인당 소득 수준의 영향을 받을 수밖에 없기 때문에 이러한 접근방식이 보다 합리적인 것으로 판단된다.

고펜퍼츠 함수는 과거 자동차 등록대수의 시계열 자료와 모형에서 외생변수로 입력되는 포화시점의 대당 인구수를 이용하여 특정 시점의 대당 인구수를 추정한다.

$$POPVHC = SATVHC \times X_{11}^{PCGDP} \quad (3-2)$$

POPVHC: 대당 인구수

SATVHC: 포화시점의 대당 인구수

PCGDP: 일인당 국내 총생산

추정계수 X_{11} 은 초기 보급률을 의미하며, 고펜르츠 함수의 추정식은 다음과 같다.

$$\ln\left(\ln\left(\frac{POPVHC}{SATVHC}\right)\right) = \ln(\ln(X_{11})) + PCGDP \times \ln(X_{12}) \quad (3-3)$$

본 연구에서는 고펜르츠 함수의 또 다른 대안으로 로그선형 함수를 병행하여 사용한다.²⁴⁾ 로그선형 함수는 고펜르츠 보급 함수를 변형한 것으로, 대당 인구수가 일인당 소득과 소득탄력성에 의해 결정된다는 가정과 대당 인구수(POPVHC)의 하한이 포화시점의 대당 인구수(SATVHC)라는 점을 이용한다.

$$POPVHC = X_{13} \times PCGDP^{X_{14}} + SATVHC \quad (3-4)$$

로그선형 함수에서 추정 계수 X_{14} 는 대당 인구수의 소득 탄력성을 의미한다. 로그선형 함수는 다음과 같은 추정식으로 변형된다.

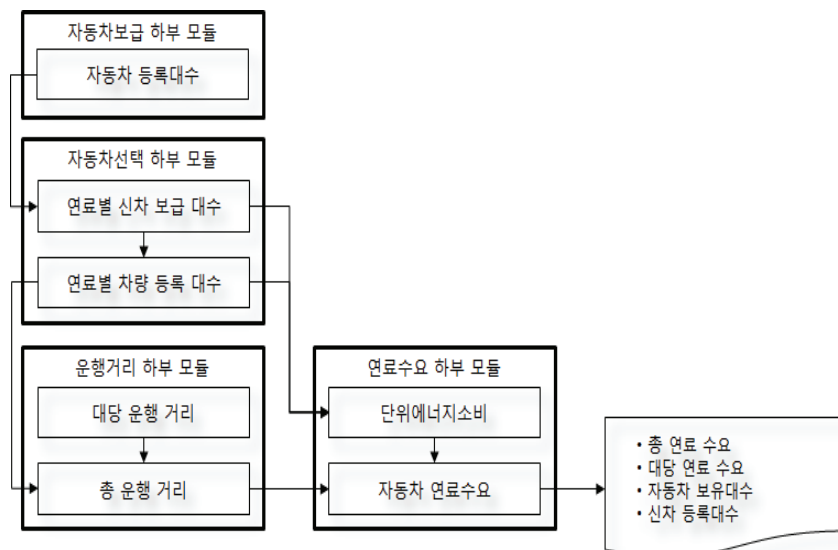
$$\ln(POPVHC - SATVHC) = \ln(X_{13}) + X_{14} \times \ln(PCGDP) \quad (3-5)$$

승용차 등록대수에 대한 전망이 완료되면 다음 단계로 자동차선택 하부모듈에서 신규 자동차 등록대수를 전망하고, 연료 가격을 변수로 한 로짓 비중 함수를 이용하여 내연기관 및 하이브리드로 대별되는

24) 고펜르츠 함수나 로지스틱 함수의 경우 대당 인구수가 과소 추정(자동차 보유 대수는 과다 추정)되는 경향이 있기 때문에 이를 보정할 수 있는 방법으로 활용한다.

기술별 차량선택과 휘발유, 경유, LPG 등의 연료별 차량 선택을 순차적으로 수행하게 된다. 본 연구에서는 KEEI-EGMS 수송부문 모형을 확장하고, 연료별 차량을 차급별(대형, 중형, 소형, 경형)로 세분하여 전망한다. 이는 전기자동차의 보급에 따른 에너지수요 및 온실가스 변화 효과를 보다 정교하게 측정하기 위함이다.

[그림 3-9] KEEI-EGMS 비사업용 승용차 모듈의 구조 및 연산 흐름



자료: 장기 에너지 및 온실가스 전망시스템 설명서(KEEI 내부자료, 2012)

자동차보급 하부 모듈에서 전망한 비사업용 승용차등록 대수와 폐차율, 연료가격 등을 이용하여 자동차 신규 등록대수, 사용 연료별·차급별 신규 등록대수, 사용 연료별 자동차 총 등록대수를 계산한다. 소비자의 자동차 선택은 연료가격에 의한 사용 연료별 차량 선택으로

분석을 단순화하였다.²⁵⁾ 연료별 차량을 선택한 이후, 선택행위는 다시 차급별 차량 선택으로 이어진다. 본 연구에서는 모형의 단순화를 위해 에너지관리공단의 연료별 승용차 내 차급별 판매 비중²⁶⁾ 자료를 이용하여 이동평균(Moving Average) 방식으로 전망기간 동안의 차급별 판매 비중을 전망하였다. 이 비중 전망을 이용하여 연료별 승용차 판매대수를 차급별로 배분한다. 향후 모형의 정교화를 위해서는 연료별 차량 내에서 다시 차급을 선택하는 로짓 모형을 장기적으로 개발할 필요가 있다.

〈표 3-4〉 연료별 배기량별 신규 자동차 판매 비중

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011
휘발유 승용차						
경형	0.111	0.137	0.199	0.145	0.174	0.203
소형	0.347	0.344	0.320	0.376	0.343	0.314
중형	0.253	0.252	0.231	0.247	0.258	0.211
대형	0.289	0.267	0.250	0.232	0.225	0.272
합계	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
경유 승용차						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
소형	0.044	0.036	0.032	0.019	0.019	0.020
중형	0.318	0.357	0.376	0.405	0.452	0.507
대형	0.639	0.607	0.592	0.576	0.529	0.473
합계	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

자료: 지식경제부·에너지관리공단(2012, 2011)

25) 실제로 소비자의 차량 선택은 차량 형태 및 배기량뿐만 아니라 제조연식, 연비, 디자인, 편의장치 등 다양한 차량 속성 변수와 소득, 나이, 가구원 수 등 소비자 특성 변수 등 다양한 변수들의 영향을 받는다.

26) 에너지관리공단(2011)의 2006~2011년 기간의 승용차 연료별 신규판매 비중을 의미한다.

자동차선택 하부모듈의 자동차 선택 과정을 상세히 설명하면 다음과 같다. 우선 자동차 총 등록 대수(STKVHC)에서 기타에너지 사용 자동차를 분리하여 일반 연료자동차 등록대수(NCFVHC)를 계산한다. 기타에너지 사용 자동차의 보급은 시나리오에 의해 결정한다.²⁷⁾

$$NAFVHC = STKVHC \times PAFVHC \quad (3-6)$$

$$NCFVHC = STKVHC - NAFVHC \quad (3-7)$$

NAFVHC: 대체에너지 연료 자동차 등록 대수

NCFVHC: 일반 연료 자동차 등록 대수

PAFVHC: 기타에너지 연료 자동차 보급 비율(시나리오)

사용 연료별 자동차 신규 등록 대수는 일반연료 자동차 총 신규 등록 대수를 구한 후 연료 가격에 따른 자동차 선택모형을 적용하여 계산한다. 일반연료 자동차 총 신규 등록 대수는 앞에서 전망한 자동차 등록대수와 평균 폐차율을 이용하여 산정하는데, 기존 등록 차량 중 폐차된 차량 대수와 자동차 총 등록 대수 증가분의 합으로 계산된다.

$$NNVHC = NCFVHC_{-1} \times SRVHC + (NCFVHC - NCFVHC_{-1}) \quad (3-8)$$

NNVHC: 자동차 신규 등록 대수

NCFVHC: 일반 연료 자동차 등록 대수

SRVHC: 폐차율

27) 사용 연료가 등유, 알코올, 태양열, 기타 등인 자동차를 모두 기타에너지 사용 자동차로 분류한다.

소비자는 신규 자동차를 구입할 때 두 단계에 걸쳐 자동차를 선택한다. 첫 번째 단계에서는 일반 자동차와 하이브리드 자동차 등 자동차 기술을 선택하고, 두 번째 단계에서는 휘발유, 경유, LPG, LNG/CNG 등 사용 연료를 선택한다. 이 과정에서 연료 가격을 변수로 한 로짓 비중 함수를 이용하여 소비자 선택을 모형화한다. 즉, 연료 가격의 변화만을 이용하여 신규 자동차의 비중을 전망하는 것이다.

$$VTTSR_j = \frac{VTTSRBY_j \times e^{\beta_j(1-APRAT)}}{\sum_{m=1}^n VTTSRBY_m \times e^{\beta_m(1-APRAT)}} \quad (3-9)$$

$$FLTSHR_i = \frac{FLTSHRBY_i \times e^{\beta_i(1-PRAT_i)}}{\sum_{k=1}^n FLTSHRBY_k \times e^{\beta_k(1-PRAT_k)}} \quad (3-10)$$

VTTSR: 기술 형태별 시장 점유율(j = 일반 자동차, 하이브리드)

VTTSRBY: 기준년도 사용 기술 형태별 시장 점유율

FLTSHR: 사용 연료별 시장 점유율(i = 휘발유, 경유, LPG, LNG/CNG)

FLTSHRBY: 기준년도 사용 연료별 시장 점유율

APRAT: 기준년도 대비 평균 연료 가격 비율

PRAT_i: 기준년도 대비 사용 연료 i의 가격 비율

로짓 비중 함수를 이용한 연료별 자동차의 신규 등록 대수는 다음과 같이 계산되며, 연료별 자동차 내에서의 차급 비중은 앞서 설명한 대로 과거 판매비중 실적치의 추세를 이용하여 전망한다.

$$NNVFLT_{i,j} = NNVHC \times VTTSHR_j \times FLTSHR_i \quad (3-11)$$

NNVFLT: 사용 연료별 자동차 신규 등록 대수

전망 기간의 비사업용 자동차 총 등록대수는 전년도 사용 연료별 자동차 등록대수, 폐차율, 연료별 자동차 신규 등록대수를 이용하여 전망한다.

$$VHCFLT_{i,j} = VHCFLT_{-1,i,j} \times (1 - SRVHC) + NNVFLT_{i,j} \quad (3-12)$$

VHCFLT: 사용 연료별 자동차 등록 대수

2) 사업용 승용차

전망 기간의 비사업용 승용차 총 등록대수 전망은 사업용 등록대수 전망방법과는 달리 GDP 등을 설명변수로 하는 ‘log-log’ 회귀모형을 이용하여 전망한다.

$$STKBVHC = f(GDP, trend, dummy) \quad (3-13)$$

STKBVHC: 전망 시점의 사업용 자동차 등록 대수

승용차 등록대수에 대한 전망이 완료된 이후의 과정은 사업용 승용차 모듈과 유사하다. 즉, 자동차선택 하부모듈에서 사업용 승용차 등록대수 전망 결과와 폐차율, 연료가격 등을 이용하여 자동차 신규 등록대수, 기술별(전통 내연기관, 하이브리드), 사용 연료별(휘발유, 경

유, LPG, 천연가스), 차급별(대형, 중형, 소형, 경형) 신규 등록대수 그리고 연료별 총 등록대수를 순차적으로 계산한다. 기술별, 사용 연료별 차량 선택은 연료 가격을 변수로 한 로짓 비중 함수를 이용하며 연료별 차량을 차급별로 세분하는 방법도 비사업용 승용차 등록대수 전망방법과 동일하다.

나. 주요 전제

확장된 KEEI-EGMS 수송부문 모형을 통해 승용차 등록대수 전망을 하기 위해서는 국내총생산(GDP), 인구 등 몇 가지 주요한 변수들에 대한 전망 전제치가 필요하다. GDP는 2012~2013년의 경우 기획재정부 전망치²⁸⁾, 2013년 이후는 한국개발연구원(KDI)의 잠재성장률을 채택하였다. 인구는 ‘2010년 인구주택총조사’ 결과가 반영된 통계청의 추계인구 전망자료를 이용하였다.

국제유가(두바이유 실질가격 기준) 상승률은 미국 DOE/EIA의 기준유가 시나리오를 적용하였다.²⁹⁾ 또한 연료별 차량 간 대체에 영향을 미치는 휘발유, 경유, LPG의 수송연료 상대가격 비율은 전망기간 중 ‘제2차 에너지세제 개편’의 상대가격 비율(100:85:50)을 유지하는 것으로 가정하였다. 이상의 가정은 기준안 및 전기차 보급안에 동일하게 적용되며, 전망 시나리오 간에는 전기자동차의 보급률 차이만 존재한다.

28) 기획재정부, 2012년 하반기 경제전망(2012.6.28)

29) USDOE/EIA, Annual Energy Outlook 2012 Early Release(2012.1)

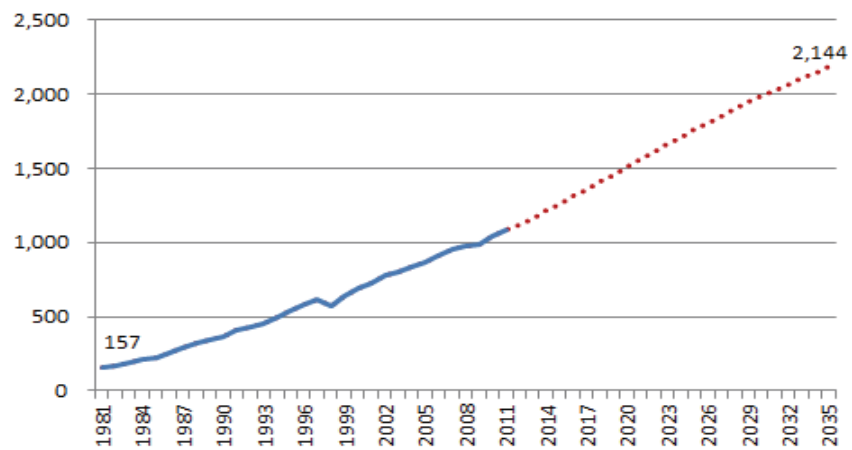
〈표 3-5〉 주요 전망 전제

구분	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035
인구(백만 명)	47.01	49.41	50.62	51.44	51.97	52.16	51.89
GDP(조 원)	695	1,044	1,260	1,511	1,759	1,987	2,182
1인당 GDP (백만 원)	14.78	21.12	24.90	29.39	33.85	38.09	42.04
두바이유가 (실질가격, US\$/B)	28.9	71.0	117.9	120.4	125.8	131.3	137.7
대당 인구 수(명)	6.02	3.76	3.24	2.90	2.71	2.60	2.53

자료: 통계청, KDI, 미국 DOE/EIA

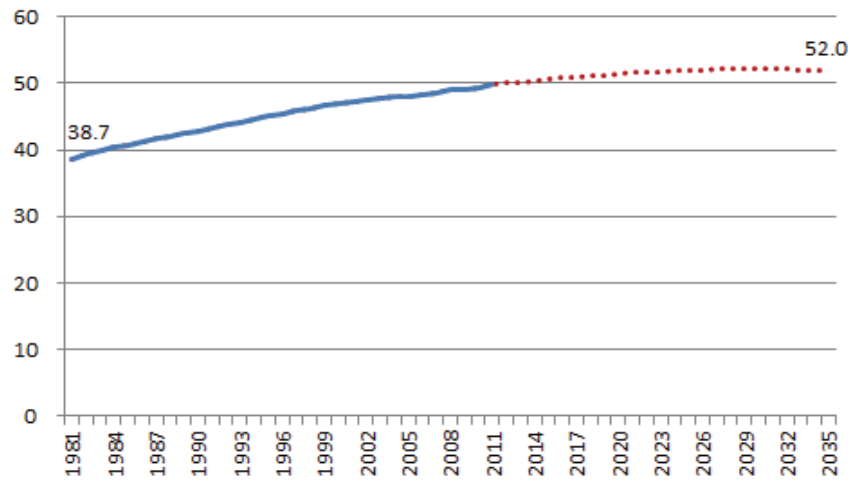
[그림 3-10] GDP 전제

(단위: 조 원)



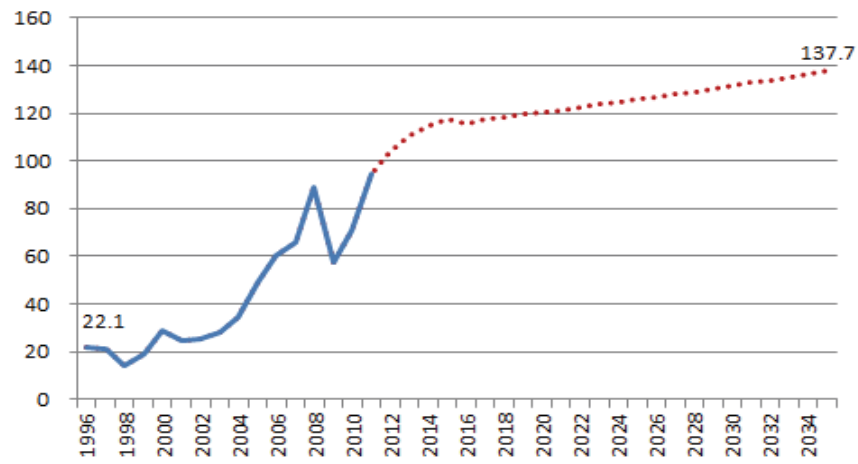
[그림 3-11] 인구 전체

(단위: 백만 명)



[그림 3-12] 실질 국제유가(두바이유)

(단위: US\$/배럴, '05년 가격기준)

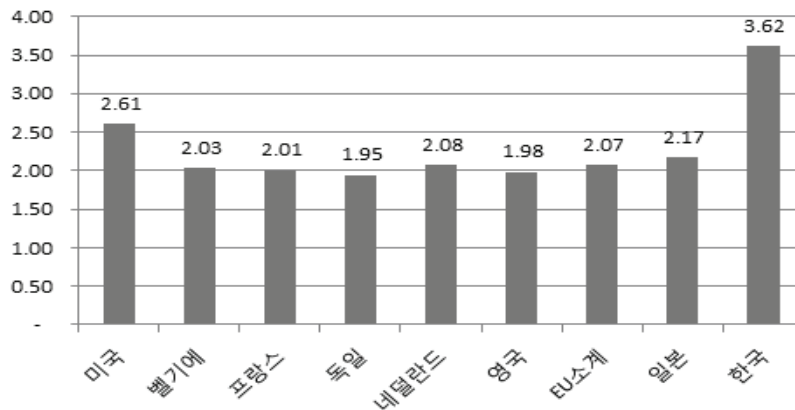


비사업용 승용차 등록대수 전망은 고펜레츠 함수의 포화시점 대당 인구수 가정에 따라 변동하게 된다. 본 연구에서는 해외 자료를 근거로 우리나라 비사업용 승용차의 포화시점 대당 인구수를 1.8명으로 가정하였다.

우리나라와 교통 환경이 다른 미국을 제외하면, 인구와 자동차 등록대수가 포화시점에 근접한 일본과 유럽의 주요 선진국들은 2010년 기준으로 대당 2인 내외의 승용차(사업용 포함) 보유실적을 보이고 있다(우리나라는 대당 3.62인). 사업용이 일부 포함된 점을 고려하면 우리나라와 유사한 도로 교통 환경을 가진 선진국들의 포화시점 대당 인구수는 2대 미만일 것으로 추정된다. 따라서 우리나라 포화시점의 대당 인구수를 대당 1.8인으로 결정하였다.

[그림 3-13] 주요국의 승용차 대당 인구수(2010년)

(단위: 인/대)

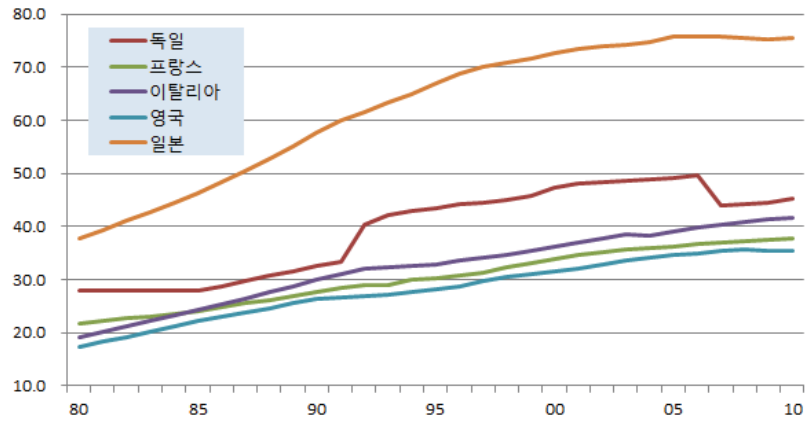


주: 승용차는 비사업용 외 영업용도 포함

자료: 한국자동차산업협회 홈페이지(<http://www.kama.or.kr>)

[그림 3-14] 주요국 자동차 보유 추이

(단위: 백만 대)



주: 승용차+상용차 합계

자료: 한국자동차산업협회 홈페이지(<http://www.kama.or.kr>)

다. 승용차 시장 전망 결과(기준안)

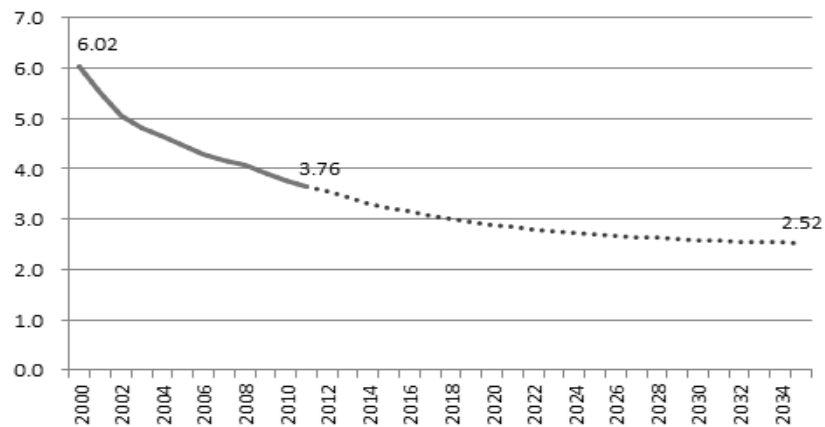
본 연구에서는 비사업용 승용차 등록대수 전망을 위해 고펜페르츠 함수를 변형한 로그선형 함수를 활용하였다. 대당 인구수(POPVHC) 추정결과는 아래와 같다. 대당 인구수는 일인당 소득과 소득탄력성에 의해 결정되며, 대당 인구수의 하한은 포화시점 보급률인 대당 1.8이다.

$$POPVHC = (4.35E + 21) \times PCGDP^{-2.93} + 1.8 \quad (3-14)$$

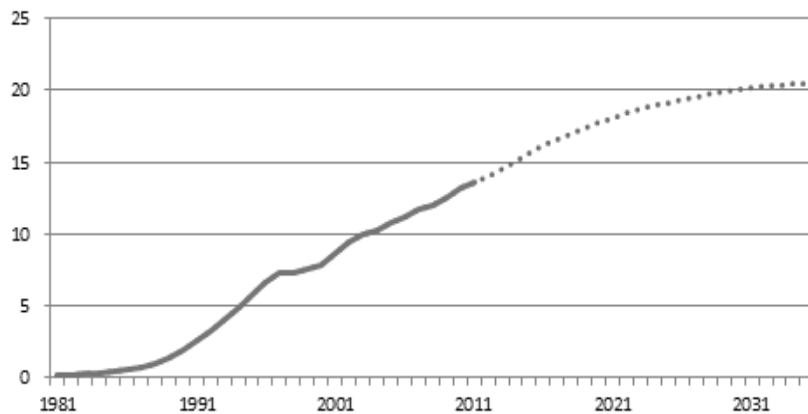
전망 결과에 따르면, 대당 인구수는 2011년 3.76명에서 2035년에는 2.52명으로 하락할 것으로 예상된다. 포화시점의 대당 인구수가 1.8명이므로, 통계청의 전망에 따라 2030년부터 인구가 감소한다고 해도

비사업용 승용차 등록대수는 2035년 이후에도 몇 년간은 완만하게 늘어날 것으로 전망된다.

[그림 3-15] 우리나라 비사업용 승용차 대당 인구수 전망
(단위: 인/대)

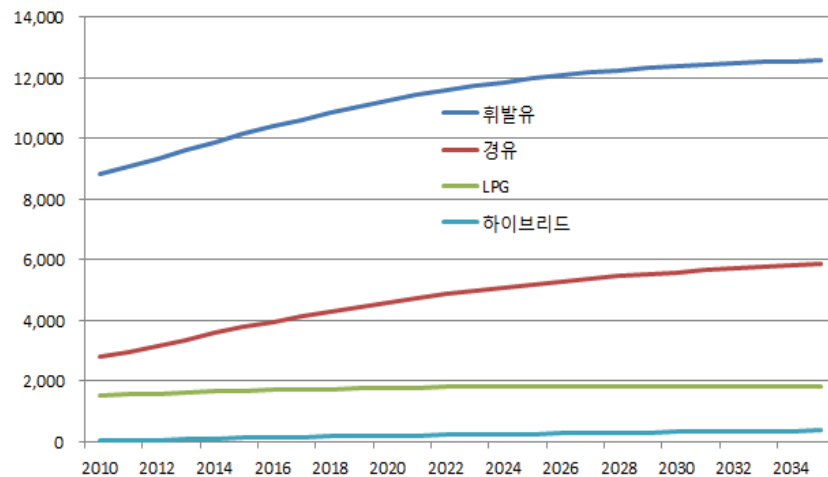


[그림 3-16] 비사업용 승용차 등록대수 전망
(단위: 백만 대)



[그림 3-17] 연료별 비사업용 승용차 등록대수 전망

(단위: 천 대)



비사업용 승용차 등록대수는 2010년 약 13,148천 대에서 연평균 1.8%의 속도로 증가하여 2035년에는 20,515천 대에 이를 것으로 예상된다. 전통적인 내연기관 승용차는 연평균 1.7% 증가하며, 하이브리드 차는 연평균 12.6%의 증가율을 기록할 것으로 전망된다. 하이브리드 차의 증가율 전망은 최근 몇 년간의 빠른 증가 속도(2008~2011년, 연평균 116% 증가)에 비해서는 낮은 수준이다. 이는 하이브리드 차 등록통계의 시계열이 짧으며, 단기적인 변동을 반영하기 어려운 장기 전망모형의 구조적 특성에 따른 결과인 것으로 판단된다. 내연기관 승용차 중 휘발유차는 연평균 1.4%, 경유차는 연평균 3.0%의 증가율을 보일 전망이다.

〈표 3-6〉 비사업용 승용차 등록대수 전망

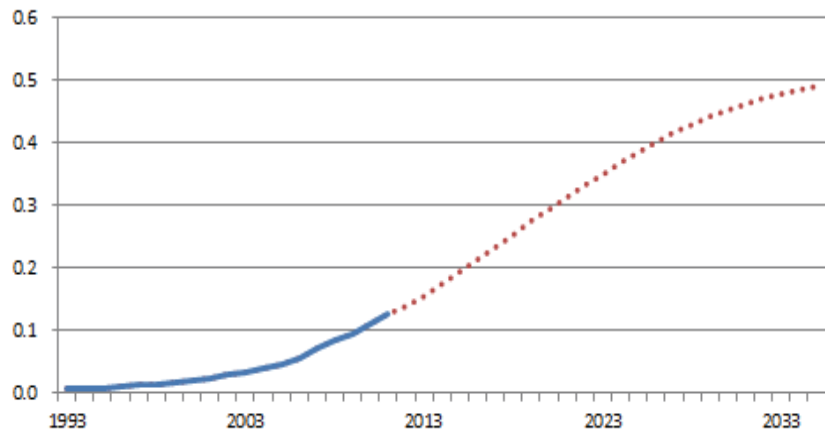
(단위: 천 대)

구분	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035
승용차 합계	7,814	13,148	15,647	17,751	19,177	20,058	20,515
내연기관	7,813	13,127	15,525	17,552	18,919	19,748	20,158
- 휘발유	7,137	8,810	10,119	11,219	11,940	12,353	12,523
- 경유	396	2,784	3,749	4,571	5,161	5,567	5,828
- LPG/CNG	279	1,533	1,657	1,762	1,817	1,829	1,807
하이브리드	0	18	119	195	255	306	354
- 휘발유+전기	0	7	89	153	203	247	288
- LPG+전기	0	11	30	43	52	60	66
PHEV(+휘발유)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EV	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
기타	1.2	2.6	2.6	3.0	3.2	3.4	3.5

사업용 승용차 등록대수는 비사업용 승용차보다는 보급 속도가 빠르다. 2010년 약 112천 대에서 연평균 6.1%의 속도로 증가하여 2035년에는 491천 대가 보급될 것으로 예상된다. 전통 내연기관 승용차는 연평균 6.0%, 하이브리드 차는 상대적으로 빠른 연평균 16.9%의 증가세를 보일 전망이다.

[그림 3-18] 사업용 승용차 등록대수

(단위: 백만 대)



비사업용과 사업용을 합한 승용차 총 등록대수는 2010년 1,326만대에서 연평균 1.9% 증가하여 2035년에는 2,100만 대에 달할 전망이다. 내연기관 승용차는 연평균 1.8% 증가하며, 하이브리드 차는 연평균 12.7%의 증가율을 기록할 것으로 전망된다. 하이브리드 차 중에서는 휘발유 하이브리드차가 연평균 16.1% 증가하여 LPG 하이브리드차보다 빠르게 늘어날 전망이다. 기준안 전망에서는 전통 내연기관 휘발유차가 2035년에 여전히 전체 승용차의 61.3%를 점유(2010년 점유율 67.0%)할 것으로 전망되며, 경유차는 28.8%를 점유하여 2010년(21.3%)보다는 비중이 크게 늘어날 것으로 예상된다.

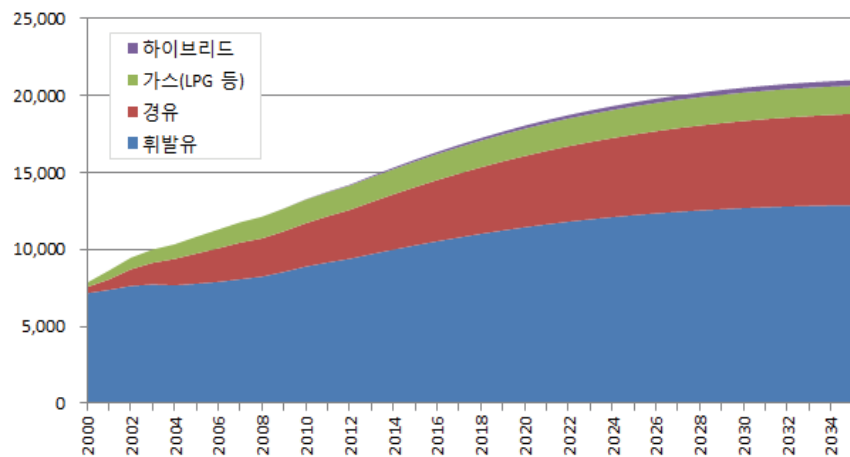
〈표 3-7〉 승용차(사업·비사업용) 등록대수 전망(기준안)

(단위: 천 대)

구분	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035
승용차 합계	7,834	13,260	15,840	18,046	19,561	20,509	21,006
내연기관	7,832	13,239	15,717	17,844	19,296	20,192	20,640
- 휘발유	7,155	8,889	10,262	11,439	12,225	12,685	12,881
- 경유	398	2,817	3,794	4,635	5,243	5,663	5,935
- LPG/CNG	279	1,533	1,661	1,770	1,829	1,844	1,824
하이브리드	0	18	120	199	261	314	362
- 휘발유+전기	0	7	90	157	209	254	296
- LPG+전기	0	11	30	43	52	60	66
PHEV(+휘발유)	0	0	0	0	0	0	0
EV	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
기타	1.2	2.6	2.6	3.0	3.2	3.4	3.5

[그림 3-19] 승용차 종류별·연료별 등록대수(기준안)

(단위: 천 대)



4. 전기자동차 시장보급률 예측

가. 방법론 및 선행 연구

새로운 제품에 대한 수요 예측은 정부의 정책 입안과 기업의 의사 결정에 매우 중요한 요소이다. 기업은 새로운 제품의 시장진입 성공여부를 수요 예측을 기초로 하여 판단할 수 있으며, 이에 따라 제품 개발의 방향을 설정한다. 정부도 새로운 제품이 국민의 후생에 미치는 영향과 산업구조 변화를 예상하여 선제적으로 정책을 수립할 수 있다.

에너지 고갈과 지구온난화 문제는 우리 사회에 많은 영향을 미치고 있는데, 전 세계 에너지 소비의 20% 가량을 담당하는 수송부문에서도 이러한 문제들을 해결하기 위해 친환경·고효율 자동차 개발에 연구와 투자를 아끼지 않고 있다. 친환경 자동차 개발은 크게 두 방향으로 이루어지고 있는데, 첫 번째는 대체에너지를 사용하는 자동차 개발을 촉진하여 화석 연료 수요를 대체하는 것이고, 두 번째는 에너지 효율을 획기적으로 개선하여 화석 연료 수요를 낮추는 것이다. 친환경 자동차 중 완성도가 높고 소비자들에게 ‘고연비’라는 장점으로 다가가고 있는 하이브리드 자동차는 이미 시장에 진입하기 시작했다.

생산부문에서 신기술을 적용한 친환경 자동차의 개발도 중요하지만 친환경 자동차에 대한 시장 수요가 얼마나 될 것인지를 예상하는 것은 자동차 메이커뿐만 아니라 국가적으로도 매우 중요하다. 왜냐하면 이러한 연구들은 ‘온실가스 감축’과 ‘에너지효율 개선’이라는 정책 목적을 달성하기 위한 효과적인 정책수단 개발에 중요한 정보가 되기 때문이다. 경제·사회 환경 변화, 소비자의 기호와 소비 유형 변화 등으로 인해 승용차 수요를 전망하는 것은 매우 복잡하고 어려운 과정

이다. 특히 미래에 출시될 전기자동차(EV, PHEV)까지 고려하여 수요 전망을 하기 위해서는 많은 가정과 정보가 필요하다. 앞 절에서 몇 가지 전제와 가정을 통해 우리나라의 승용차 전체 시장규모(연료별, 차급별)를 전망해 보았다. 이번 단계에서는 기존의 자동차 시장에 대한 정보와 소비자 설문조사 결과를 기반으로 차급별 전기자동차의 시장 수요를 예측하고자 한다. 본 항에서 예측될 차급별 전기차 시장점유율과 앞 절에서 도출된 우리나라 전체 승용차 시장규모 전망을 이용하면 장기적인 전기자동차 보급대수를 전망할 수 있다.

새로운 제품에 대한 수요예측을 하는 방법으로 시계열 분석법(time-series analysis)과 횡단면 분석법(cross-sectional analysis)이 있다(Lee and Cho, 2009). 시계열 분석법은 새로운 제품이 시간의 흐름에 따라 시장에 침투 및 확산되는 형태를 분석하는 방법이고, 횡단면 분석법은 제품의 특성 변화가 시장점유율에 어떠한 영향을 미치는지를 예측하여 수요를 전망하는 방법이다. 즉, 횡단면 분석법은 제품의 특성에 대한 소비자들의 선호에 기초하여 수요를 예측할 수 있으므로, 시장에 존재하지 않은 새로운 제품에 대한 수요 전망이 가능하다. 반면 시계열 분석법은 특정 제품이 시장에서 확산되는 패턴을 분석할 수 있다는 장점은 있지만, 제품의 특성이 변화하거나 또 다른 신제품이 시장에 진입할 경우의 수요 전망은 불가능하다는 단점이 있다.

전기자동차는 하이브리드 자동차부터 연료전지 자동차까지 그 종류가 매우 다양하고 상용화되지 않은 기술들이 존재한다.³⁰⁾ 따라서 전기자동차 시장을 예측하기 위해서는 시계열 분석법보다는 횡단면 분석법을 이용하는 것이 적합하다. 이에 본 연구에서는 횡단면 분석법을

30) 정부에서 정한 ‘그린카’와 동일한 개념으로, 그린카의 종류는 최도영·이상열(2011)에 자세히 설명되어 있다.

이용한다. 횡단면 분석법 가운데 이산선택모형(discrete choice model)을 이용하면 소비자들의 상품에 대한 선호 패턴을 분석할 수 있다. 이산선택모형이 가장 활발하게 사용되는 분야는 교통 분야이다. 동 모형은 특정 지점으로 이동하는 다양한 교통수단이 있을 때, 소비자들의 교통수단에 대한 수요를 전망하는 것에서부터 발전하였고(Bolduc, 1999), 여가 수단 수요(Roe et al., 1993), 의료행위 수요(Miguel, et al., 2000) 등 다양한 분야의 수요예측에 사용되고 있다.

이산선택모형은 자동차 수요전망에 많이 사용되었는데, Beggs et al.(1981)은 순위로짓법(ordered logit model)을 이용하여 전기자동차의 시장 진입 여부에 대해서 연구하였다. Hensher(1982)도 설문조사법과 이산선택모형을 이용하여 전기자동차의 수요를 추정하였다. Train(1986)은 시나리오에 기반하여 휘발유 이외의 자동차들의 수요를 전망하였다. 단순히 자동차의 특성만을 이용하여 수요를 추정하던 것과는 달리 Brownstone et al.(1996)은 소비자들이 자동차 구입에 실제로 고려하는 요소들을 추가하여 분석을 실시하였다. McCarthy and Tay(1998)는 자동차 연비가 자동차 구입에 미치는 영향에 초점을 맞추어 자동차 시장을 분석하였다.

우리나라에서도 이산선택모형을 이용하여 수요전망을 실시한 연구들이 있는데, 황상규 · 박상준 · 박용일(2008)은 설문조사와 이산선택모형을 이용하여 휘발유, 경유, 하이브리드 자동차의 수요가 자동차 정책에 따라 어떻게 변화할 것인지를 예측하였다. 분석 결과 소비자들에게 직접적으로 자동차 구입비를 지원하는 것이 하이브리드 자동차 보급에 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 차량 운행 시 발생하는 연료비용 및 기타 비용(주차요금 할인 등)을 줄여주는 것도 효과적이라

고 결론지었다. 그러나 대표적인 친환경 자동차로 떠오르고 있는 플러그인 하이브리드 및 순수 전기자동차를 분석에 포함하지 못해 친환경 자동차 시장을 종합적으로 분석하지 못했다는 한계가 있다.

Ahn et al.(2008)은 컨조인트법을 이용하여 대체연료 승용차의 시장 보급이 연료별 승용차의 보유 및 이용에 미치는 영향을 분석하였다. 서울특별시에서 승용차를 보유하고 있는 280명을 대상으로 휘발유, 경유, LPG 외에 CNG, 하이브리드(전기+휘발유) 차량의 구매 여부를 조사하였다. 분석 결과, 하이브리드 등 대체 기술 또는 연료의 자동차가 어느 정도 시장잠재력을 가진 것으로 나타났으나, 여전히 전통적인 휘발유 승용차에 대한 소비자들의 선호가 가장 높을 것이라고 예측하였다. 이 연구도 전기자동차가 분석에서 제외되어 친환경 자동차 시장을 종합적으로 분석하는 데는 한계가 있다.

본 연구는 기존의 연구를 바탕으로 횡단면 자료를 이용하여 국내 전기자동차의 수요를 예측한다. 기존의 친환경 자동차 연구들은 전기 자동차에 대한 수요예측이 제한적이었거나, 관심지역이 해외였다. 따라서 본 연구는 연료 종류에 전기를 포함하여 우리나라의 친환경 자동차를 종합적으로 다룬다는 점에서 기존 연구와 차별된다. 또한 최신 설문자료를 이용하여 자동차 시장의 동향을 보다 정확하게 반영함으로써 친환경 자동차 수요 예측의 신뢰성을 높일 수 있다.

본 연구는 3단계를 거쳐 전기자동차의 시장점유율과 시장 규모를 전망하였다. 첫째, 최도영·이상열(2011)의 연구에서 얻어진 설문조사 자료와 로짓 모형을 이용하여 자동차에 대한 소비자 효용함수를 추정하였다. 위 설문조사는 이산선택모형을 적용할 수 있는 컨조인트 분석법(conjoint analysis)을 이용하여 2011년 8월 진행되었으며, 조사 결과는 친환경·고효율 자동차 보급 정책 평가를 위해 사용된 바 있다.

본 연구에서는 전기자동차 점유율 예측을 차급별로 가능하게 하고, 추정모형의 신뢰성을 향상하기 위해 자동차 시장을 경형(1,000cc 미만), 소형(1,000~1,500cc), 중형(2,000cc 미만), 대형(2,000cc 이상) 등 4개로 분리하여 세부시장별로 소비자 효용함수를 도출하였다.

둘째, 각 시장별 소비자 효용함수에 근거하여 2개의 전기차 보급 시나리오에 따라 차급별(경형, 소형, 중형, 대형)로 휘발유차, 경유차, 하이브리드, PHEV, EV의 시장보급률을 예측하였다. 마지막으로 전체 승용차의 차급별 시장규모에 각 차종별(연료별, 전기차 기술별) 주요 점유율을 곱하여 승용차 등록대수를 전망하였다.

전기차 보급 시나리오는 전술하였듯이 2개로 구성되는데, 보급안 I은 전기자동차 기술개발과 충전 인프라 확충이 진행되지만, 민간부문에 대한 정부의 특별한 지원이 없는 안이다. 보급안 II는 전기차 구매시 제공되는 정부의 세제지원이 지속되고, 기술개발이 빠르게 진행되는 안이다. 그 결과로 전기자동차의 가격이 빠르게 하락하고(2035년까지 배터리가격 50% 인하), 충전시간은 30분으로 단축된다.

나. 자료 설명³¹⁾

친환경자동차에 대한 선호를 파악하기 위한 설문조사가 2011년 8월에 인터넷으로 실시되었다. 설문응답자의 모집단은 수도권(서울특별시, 인천광역시, 경기도)에 거주하는 2010년 기준 자동차 운전면허증 소지자로 제한하였고, 표본의 대표성을 향상하기 위해서 1,000명의 표본을 지역별, 성별, 연령별로 비례 할당하여 추출하였다.³²⁾

31) 자세한 내용은 최도영·이상열(2011) 참조.

32) 모집단인 경찰청의 운전면허 소지자 수는 지역별, 성별로만 구분되어 있어 연령별 분포는 주민등록 통계의 인구비율을 이용하였다.

〈표 3-8〉 조사 개요

구분	내용
조사 대상(모집단)	수도권의 1·2종 운전면허증 소지자 ※ 현재 자동차 운전 여부와 무관
표본 규모	총 1,000명 (층화변수: 지역>성>연령)
조사 방법	구조화된 설문지를 통한 온라인 조사(오프라인 조사 일부 병행)
조사 시기	2011년 8월

자료: 최도영·이상열(2011)의 p.84 <표 4-2> 재인용

〈표 3-9〉 지역·성·연령별 표본 할당

(단위: 명)

구분	계	20대	30대	40대	50대	60세 이상
합계	1,000	187	234	237	188	154
서울	소계	418	82	96	91	80
	남성	251	50	59	55	47
	여성	167	32	37	36	33
인천	소계	107	20	24	26	21
	남성	66	13	15	16	13
	여성	41	7	9	10	8
경기	소계	475	85	114	120	87
	남성	284	52	68	73	53
	여성	191	33	46	47	34

자료: 최도영·이상열(2011)의 p.86 <표 4-6> 재인용

표본 집단의 주요 특성에 대해서 간략히 설명하면, 먼저 자신이 속해 있는 가구의 월평균 소득이 401~500만 원 수준이라고 답한 응답자들이 전체의 24.0%로 가장 큰 비중을 차지하였다. 가구의 소득은 이 소득 구간을 중심으로 정규분포에 가까운 형태를 보였다. 월평균 가구 소득이 701만 원 이상이라고 응답한 고소득계층은 전체의 14.6%였으며, 200만 원 이하의 저소득 가구는 6.4%였다. 응답자의 55.1%가 4년제 대학교 재학·중퇴·졸업자였고, 대학원 이상의 학력을 가진 응답자는 12.7%를 차지하였다. 10년 이상의 운전경력을 보유하고 있는 응답자가 전체의 절반을 넘었으며, 전체의 3.5%는 운전면허증 소지자이면서도 아직 운전을 해본 경험이 없었다.

설문지는 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째는 응답자의 자동차 소유 여부와 주요 사용 용도를 파악하고, 다음번에 자동차를 구입할 경우 자동차 크기 등 관심을 갖고 있는 자동차 속성들이 무엇인지를 조사하는 부분이다. 또한 정부가 규정하고 있는 그린카의 종류와 특성에 대해 상세히 설명함으로써 응답자들이 전기자동차 등 그린카에 대해 충분히 인지한 후 설문에 임할 수 있도록 하였다.

두 번째 부분은 자동차 선택에 관한 질문들로 구성되었다. 응답자들은 설문에서 제시한 3개의 자동차 종류 중에서 가장 선호하는 자동차를 선택해야 한다. 각 자동차는 자동차의 특성을 대표하는 6개의 속성 값들로 구분된다. 6가지 속성은 연료 종류, 연비, 주유(충전)시간, CO₂ 배출량, 연간 자동차세, 자동차 구입가격이며, 각 속성은 네 개의 다른 값으로 차별화되어 있다.

그린카의 속성 중에서 일반 내연기관 승용차와 가장 명확하게 구분되는 것은 사용 에너지 또는 구동기술을 의미하는 동력원이다. 현재의

기술 수준에서 동력원은 휘발유, 경유, LPG, CNG, 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 전기, 수소 연료전지 등으로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 동력원을 모두 설문에 반영하게 되면, 응답자들이 선택해야할 자동차 종류가 너무 많아지게 되어 조사의 신뢰성을 저하시키는 결과를 초래하기도 한다. 따라서 본 조사에서는 내연기관을 대표하는 연료인 휘발유 및 경유를 기본 속성에 포함시켰고, 그린카 동력원은 ‘전기’(EV)와 ‘전기+휘발유’(PHEV)로 제한하였다. 그린카 중 하이브리드 자동차(HEV)와 ‘유로5’의 배기가스 배출 기준을 만족하는 클린디젤 자동차(CDV)는 별도의 연료 종류로 설정할 필요가 없다. 이들 차량을 연비 속성과 결합하게 되면, 기존 내연기관 차량과 구분할 수 있기 때문이다. 즉, HEV와 CDV는 연료 효율이 좋은 휘발유 및 경유 승용차일 뿐이다.

따라서 본 연구의 시장 수요 예측에 포함되는 차종은 휘발유 및 경유차(내연기관 또는 하이브리드), 플러그인 하이브리드차, 순수 전기자동차이며, 내연기관 가스 자동차(LPG/LNG/CNG)와 기타 자동차(알코올, 태양광 등)는 자료의 한계로 제외되어 있다. 즉, 차종별 시장 수요는 가스 및 기타자동차를 제외한 총 수요(판매량)에서의 점유율을 의미한다.

연비 속성은 7km/ℓ, 15km/ℓ, 25km/ℓ, 40km/ℓ 등 네 개의 수준으로 구분하였다. 전기자동차의 경우는 다른 연비 단위(km/kWh)가 사용되지만, 응답자들이 자동차 종류별 연료효율 속성을 쉽게 비교할 수 있도록 전기차의 연비도 리터당 주행거리로 표시하였다. 주유(충전)시간은 5분, 10분, 30분, 60분으로 구분하였다. 내연기관 승용차의 주유시간을 5분으로 정하고, 전기자동차의 충전시간은 최대 60분으로 결정

하였다. 배터리 충전시간은 급속 충전 시 30분 내외, 완속 충전 시에는 6시간 정도가 소요된다. 그러나 완속 충전은 주로 야간에 이루어지기 때문에, 주간의 6시간에 해당할 만큼의 효용(utility) 상실이 이루어진다고 보기는 어렵다. 따라서 최대 충전시간을 1시간으로 정하였다.

(최도영 · 이상열, 2011)의 연구에 의하면, 국내에서 판매되고 있는 승용차의 가격은 1,000만 원부터 2억 원 이상까지 매우 넓은 범위로 분포되어 있기 때문에, 차량가격의 범위를 몇 개의 수준 값으로 표현하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 대안으로 자동차의 상대적인 가격을 응답자에게 제시하는 방법을 이용하였다. 먼저 다음번에 구입하려는 자동차의 가격대를 묻는 질문을 하고, 그 가격대를 기준으로 ‘500만 원 저렴’, ‘차이 없음’, ‘1,000만 원 비쌌’, ‘2,500만 원 비쌌’이라는 4개의 상대적인 가격 수준을 제시하였다. 응답자들은 먼저 자신이 차기에 구입을 고려하고 있는 자동차의 가격을 선택하고, 다음으로 그 가격에 비해서 상대적으로 비싸거나, 저렴하거나, 동일한 수준으로 자동차의 가격을 인식하게 된다.

탄소 배출량의 수준은 50g/km, 100g/km, 150g/km, 300g/km으로 구분하였다. 우리나라의 전원구성에 따른 전기자동차의 탄소 배출량을 추정하여 최소 수준을 50g/km으로 하였고, 대형 수입자동차(3,000cc 이상)의 평균 CO₂ 배출량을 고려하여 최댓값은 300g/km으로 정하였다. 연간 자동차 세액의 속성 수준은 현행 세제구조를 반영, 최소 10만 원에서 최대 80만 원까지의 범위에서 설정하였다.

〈표 3-10〉 속성 및 속성 수준

속성 변수	속성변수 수준
연료 종류	휘발유, 경유, 전기, 전기+휘발유(PHEV)
연비(km/ℓ)	7, 15, 25, 40
주유(충전) 시간(분)	5, 10, 30, 60
자동차 가격(만 원)	예상 구입가격 대비 +2,500, +1,000, 0, -500
탄소배출량(g/km)	50, 100, 150, 300
자동차세(만 원/년)	10, 20, 40, 80

자료: 최도영·이상열(2011)의 p.67 <표 3-3> 재인용

6개의 속성변수와 각 4개의 속성 값을 조합하면 모두 4,096개 ($4^6 = 4,096$)의 특성이 다른 자동차가 존재하게 된다. 이를 모두 고려하여 설문조사를 실시하는 것은 불가능하기 때문에 실험선택법을 이용하여 선택 가능한 자동차의 수를 64개로 단축하였다. 이 중에서 2개의 자동차 대안과 한 개의 고정된 대안을 묶어 총 32개의 선택대안 집합을 만들고, A, B, C, D 등 네 개 버전으로 구분된 설문지에 8개씩 배치하였다. 이 방법을 사용하면, 설문조사의 용이성과 조사결과의 신뢰성을 모두 확보할 수 있게 된다. 마지막으로 설문지의 세 번째 부분에서는 응답자의 성별, 연령, 가족현황, 학력, 소득, 운전경력을 조사하였다. 이를 통해 응답자의 사회경제적 특성이 승용차 수요에 어떠한 영향을 주는지를 분석할 수 있다.

다. 소비자효용함수 설정

1) 이론적 배경

컨조인트 분석법(conjoint analysis)은 어떤 제품 또는 서비스가 제

공하는 각각의 속성에 대해 소비자가 부여하는 가치를 추정함으로써 그 소비자가 어떤 제품을 선택할 것인지를 예측하는 기법이다 (Adamowicz et al., 1994). 즉, 소비자들이 현실적인 또는 가상적인 상품(서비스)을 구매하여 사용할 때, 그 상품을 구성하는 개별 속성들로부터 얻게 되는 각각의 효용을 합산함으로써 상품 전체의 가치나 효용을 평가한다는 것을 전제로 한다.

컨조인트 분석법의 목적은 첫째, 제품속성의 중요도 파악 및 시장세분화에 의한 고객특성 파악을 통해 신제품에 대한 아이디어를 도출하는 것이다. 둘째, 각 세분시장별로 기존제품과 신제품을 가상적으로 투입한 시뮬레이션(simulation)을 통하여 시장점유율을 예측하는 것이다. 따라서 친환경 자동차와 같이 신제품의 수요를 예측하는 데에는 컨조인트법을 적용하는 것이 적합하다.

컨조인트 설문은 응답자에게 몇 가지 종류의 자동차를 제시하고, 그 중에서 가장 선호하는 자동차를 선택하도록 한다. 따라서 응답자들은 제시된 각각의 자동차에 대해서 ‘예’ 또는 ‘아니오’로 자신의 선호를 명확하게 표시해야 한다.

컨조인트법을 통해 자동차에 대한 효용함수를 추정하기 위해서는 개인의 효용함수(utility function)를 설정해야 한다. 응답자 i 는 자신의 효용함수를 정확하게 알고 있다고 가정한다. 응답자 i 는 소득, 성별, 상품에 대한 기호 등 자신의 경제·사회적인 특성에 따라 여러 가지 상품들 가운데 하나를 선택하여 소비함으로써 효용을 얻게 된다. 이때 소비자의 간접 효용함수는 식(3-15)와 같이 표현된다.

$$U_{ij}(x_j, y_i; s) = V_{ij}(x_j, y_i, s) + \epsilon_{ij} \quad (3-15)$$

여기서 x 는 응답자가 자동차 j 를 선택하였을 때 j 가 갖고 있는 속성 수준이고, y 는 응답자의 소득, s 는 응답자 개별 특성을 의미한다. 각 응답자는 자신의 효용수준을 명확하게 알고 있기 때문에 U_{ij} 에 대해서 확정적(deterministic)이다. 그러나 연구자는 응답자의 효용수준을 정확히 파악할 수 없기 때문에 효용함수 U_{ij} 는 관찰 가능한 부분인 $V_{ij}(x_j, y_i, s)$ 와 관찰이 불가능한 부분인 ϵ_{ij} 으로 나누어질 수 있다.

예를 들어, 응답자가 다른 속성으로 구성된 두 개의 자동차 중에서 하나를 선택한다고 하자. 첫 번째 자동차가 갖고 있는 특정 속성의 수준은 '0'이고 두 번째 자동차의 해당 속성의 수준이 '1'이며, 두 번째 차량의 가격이 첫 번째 차량의 가격보다 t 만큼 높다고 가정하자. 이 때 응답자가 두 번째 자동차를 선택하는 경우는 $U_{i2}(1, y_i - t; s) \geq U_{i1}(0, y_i; s)$ 일 때이다. 즉, 두 번째 대안의 특정 속성에서 얻는 효용의 증가분이 소득의 감소(t)로부터 발생하는 효용 감소분보다 클 경우이다. 이 식을 정리하면 식(3-16)과 같이 표현된다.

$$V_{i2}(1, y_i - t, s) + \epsilon_{i2} \geq V_{i1}(0, y_i, s) + \epsilon_{i1} \quad (3-16)$$

두 개의 자동차뿐만 아니라 다수의 자동차들로 구성된 대안집합 중에서 하나를 선택하는 것도 같은 논리로 설명할 수 있다. 응답자 i 가 선택 가능한 상품집합, C_i 에서 특정 자동차 j 를 선택한다면 j 가 아닌 모든 다른 자동차 k 에 대해서 $U_{ij} > U_{ik}$ 을 만족하여야 한다. 이 때 응답자 i 가 자동차 j 를 선택할 확률은 식(3-17)과 같다.

$$P_i(j|C_i) = \Pr(V_{ij} + \epsilon_{ij} > V_{ik} + \epsilon_{ik}) \quad (3-17)$$

위 식의 모든 오차항 $\{\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}, \dots, \epsilon_{ik}, \dots\}$ 이 독립적이고 일치적인 제1 형태 극한 분포(type I extreme value distribution)를 따른다고 가정하면, 응답자 i 가 자동차 j 를 선택할 확률은 식(3-18)과 같이 조건부 로짓(Conditional Logit) 모형이 된다(Adamowicz et al., 1994). 이 효용 함수는 최대 우도법(maximum likelihood method)을 이용하여 추정할 수 있다.

$$P_{ij} = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_{k \in C_i} \exp(V_{ik})} \quad (3-18)$$

2) 모형 설정

본 연구에서는 소비자들의 자동차에 대한 간접 효용함수를 식 (3-19)와 같이 가정하였다.

$$\begin{aligned} V_{ij} = & \beta_{diesel}X_{diesel.j} + \beta_{hybrid}X_{hybrid.j} + \beta_{elec}X_{elec.j} \\ & + \beta_{econ}X_{econ.j} + \beta_{time}X_{time.j} + \beta_{co_2}X_{co_2.j} + \beta_{tax}X_{tax.j} + \beta_{price}X_{price.j} \\ & + \beta_{mdiesel}X_{diesel.j}X_{male.i} + \beta_{mhybrid}X_{hybrid.j}X_{male.i} + \beta_{melec}X_{elec.j}X_{male.i} \\ & + \beta_{fdiesel}X_{diesel.j}X_{family.i} + \beta_{fhybrid}X_{hybrid.j}X_{family.i} + \beta_{felec}X_{elec.j}X_{family.i} \\ & + \beta_{kdiesel}X_{diesel.j}X_{k.j} + \beta_{khybrid}X_{hybrid.j}X_{k.i} + \beta_{kelec}X_{elec.j}X_{k.i} \end{aligned} \quad (3-19)$$

$X_{diesel.j}$, $X_{hybrid.j}$, $X_{elec.j}$ 은 각각 자동차의 연료 속성을 나타내는 더미변수로서 $X_{diesel.j}$ 은 응답자가 선택한 자동차가 ‘경유’를 연료로 사용할 경우 1의 값을, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는다. $X_{hybrid.j}$ 와 $X_{elec.j}$ 도 각각 연료 종류가 ‘전기+휘발유’(플러그인 하이브리드)와 ‘전

기'일 경우 1의 값을 갖고, 그렇지 않을 경우에는 0의 값을 갖는다. 각 더미변수의 추정계수 β 는 다른 조건이 동일할 경우 휘발유차 대비 경유차, 플러그인 하이브리드차 및 전기차의 효율 수준을 나타낸다.

$X_{econ.j}$ 는 선택된 자동차의 연비를 나타내는 변수로 1리터의 연료로 운행할 수 있는 주행거리(km)를 나타낸다. $X_{time.j}$ 은 선택된 자동차가 연료를 주유(충전)하는 데 소요되는 시간(분)을 나타내는 변수이며, $X_{CO_2.j}$ 는 이산화탄소 배출량(g/km), $X_{tax.j}$ 는 연간 자동차세(만 원), $X_{price.j}$ 는 자동차 가격(만 원)을 의미하는 변수들이다.

〈표 3-11〉 효율함수 변수

변수	정의
diesel	선택된 자동차의 연료가 경유이면 1, 그 외 0
hybrid	선택된 자동차의 연료가 전기+휘발유(PHEV)이면 1, 그 외 0
elec	선택된 자동차의 연료가 전기이면 1, 그 외 0
econ	선택된 자동차의 리터당 연비(km/ℓ)
time	선택된 자동차의 주유(충전)시간(분)
CO ₂	선택된 자동차의 이산화탄소 배출량(CO ₂ -g/km)
tax	선택된 자동차의 연간 자동차세(만 원)
price	선택된 자동차의 가격(만 원)
male	응답자가 남성이면 1, 그 외 0
family	응답자 가족 구성원 수(명)
k	응답자 가족의 월평균 소득(만 원)

$X_{male.i}$, $X_{family.i}$, $X_{k.i}$ 는 응답자의 사회경제적 특성을 나타내는 변수로, $X_{male.i}$ 은 응답자 i 가 남성이면 1, 여성이면 0의 값을 가지는 더

미변수이고, $X_{family.i}$ 는 응답자의 가족 구성원 수, $X_{k.i}$ 는 응답자 가족의 월평균 소득수준을 나타낸다. 응답자의 사회경제적 특성이 친환경자동차 선택에 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위해서는 각각의 변수를 자동차 연료 속성 변수와 교차하여, 교호항(interaction terms)을 생성함으로써 그 효과를 분석할 수 있다.

본 연구의 대상은 친환경자동차 시장 중 승용차 부문이므로, 승용차가 아닌 상용차에 관심이 있는 응답자에 대한 조사결과는 분석에서 제외하였다. 응답자 1,000명 중에서 18명이 이에 해당한다. 수요전망의 정확성을 향상하기 위해서 자동차 시장을 자동차 크기에 따라 4개 시장으로 구분하였다. 자동차 시장을 경형, 소형, 중형, 대형으로 나누고, 응답자가 다음번에 자동차를 구입할 경우 어떤 크기의 자동차를 구입할 의사가 있는지 조사하였다. 중형차를 구입하겠다는 응답자가 496명으로 50%에 이르고 있고 소형이 248명, 대형이 143명으로 그 뒤를 따른다. 경차를 구입하겠다는 응답자는 95명으로 차급별로 볼 때 경차에 대한 구입의사가 가장 낮았다.

〈표 3-12〉 승용차 구입의사 분포

구분	종류	응답자수
승용차	경차	95
	소형	248
	중형	496
	대형	143
상용차	-	18
	합계	1,000

982명의 응답자 중에서 남성(male)이 600명이고, 가족 구성원(family)은 평균 3.59명, 월평균 가구소득(k)은 329만원으로 나타났다.

〈표 3-13〉 응답자 특성

변수	평균	표준편차
male	0.5997	0.4902
family	3.5916	1.0786
k	328.7	208.9

라. 추정 결과

1) 경차 시장

경차를 구입하고자 하는 95명의 효용함수 추정결과 자동차 연료 종류의 변수에서는 통계적 유의성을 찾을 수 없었다. 그러나 연비와 주유시간, 탄소배출, 자동차세, 자동차가격에 대해서는 모두 유의한 추정결과를 얻을 수 있었다. 연비가 높을수록, 주유시간이 짧을수록, 탄소배출이 적을수록, 자동차세와 자동차가격이 낮을수록 효용수준이 높아지는 것을 알 수 있다.

성별은 경유와 하이브리드 자동차 선택에 영향을 주고 있는데, 남성이 여성에 비해 경유차와 하이브리드차를 보다 선호하고 있음을 알 수 있다. 반면, 가족 구성원수와 소득수준은 유의한 영향을 미치지 못하고 있다.

〈표 3-14〉 경차 시장 효용함수 추정

변수	계수	표준오차	z	P>z
diesel	0.3586	0.4437	0.81	0.419
hybrid	-0.1600	0.4580	-0.35	0.727
elec	0.4358	0.4776	0.91	0.362
econ	0.0298	0.0043	6.79	0.000
time	-0.0052	0.0026	-2.01	0.044
CO ₂	-0.0021	0.0006	-3.35	0.001
tax	-0.0197	0.0024	-8.23	0.000
price	-0.0007	0.0000	-12.01	0.000
diesel · male	0.5061	0.2459	2.06	0.040
hybrid · male	0.4791	0.2514	1.91	0.057
elec · male	-0.0098	0.2597	-0.04	0.970
diesel · family	-0.0611	0.0977	-0.63	0.531
hybrid · family	0.0706	0.0998	0.71	0.479
elec · family	-0.0344	0.1067	-0.32	0.747
diesel · k	0.00004	0.0007	0.05	0.958
hybrid · k	0.0007	0.0007	0.93	0.351
elec · k	0.0007	0.0007	0.91	0.361

Number of obs. = 2280

LR $\chi^2(17) = 271.54$

Log likelihood = -699.17697

Pseudo R² = 0.1626

2) 소형차 시장

소형차를 구입할 의사가 있는 응답자 248명의 자동차 선택 결과를 이용하여 효용함수를 추정한 결과, 경차시장의 결과와 큰 차이를 보이

지 않았다. 연비와 충전시간, 이산화탄소 배출, 자동차세, 자동차가격은 모두 유의한 결과를 보였다. 그러나 자동차 연료 특성변수들은 유의하지 못한 결과를 나타냈다. 경유자동차의 경우에는 남성과 여성 간의 선호 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

〈표 3-15〉 소형차 시장 효용함수 추정

변수	계수	표준오차	z	P>z
diesel	0.0998	0.2771	0.36	0.7190
hybrid	0.6064	0.2846	2.13	0.0330
elec	0.3471	0.2932	1.18	0.2360
econ	0.0447	0.0028	16.24	0.0000
time	-0.0116	0.0016	-7.02	0.0000
CO ₂	-0.0023	0.0004	-5.90	0.0000
tax	-0.0195	0.0015	-12.73	0.0000
price	-0.0008	0.0000	-19.28	0.0000
diesel · male	0.2740	0.1516	1.81	0.0710
hybrid · male	0.0418	0.1585	0.26	0.7920
elec · male	-0.0698	0.1638	-0.43	0.6700
diesel · family	0.0412	0.0711	0.58	0.5620
hybrid · family	-0.0661	0.0734	-0.90	0.3680
elec · family	0.1185	0.0754	1.57	0.1160
diesel · k	-0.0004	0.0004	-0.97	0.3340
hybrid · k	0.0004	0.0004	0.98	0.3250
elec · k	-0.0004	0.0004	-0.91	0.3620

Number of obs. =5952

LR $\chi^2(17)$ = 753.69

Log likelihood = -1802.8028

Pseudo R² =0.1729

3) 중형차 시장

중형차 시장에서도 연비로부터 가격변수에 이르기까지 응답자들의 효용에 유의한 영향을 미친다. 경유차에 대한 선호는 다른 시장과 마찬가지로 유의한 차이를 보이고 있다. 전기자동차의 경우 소득 수준이 높아질수록 선호가 높아지는 것을 알 수 있다.

〈표 3-16〉 중형차 시장 효용함수 추정

변수	계수	표준오차	z	P>z
diesel	-0.3333	0.2158	-1.54	0.1220
hybrid	0.2860	0.2289	1.25	0.2110
elec	0.1634	0.2410	0.68	0.4980
econ	0.0503	0.0019	26.66	0.0000
time	-0.0079	0.0011	-7.17	0.0000
CO ₂	-0.0013	0.0003	-5.01	0.0000
tax	-0.0137	0.0010	-14.25	0.0000
price	-0.0005	0.0000	-18.74	0.0000
diesel · male	0.3948	0.1111	3.55	0.0000
hybrid · male	0.1409	0.1157	1.22	0.2230
elec · male	0.1526	0.1205	1.27	0.2050
diesel · family	0.0810	0.0523	1.55	0.1220
hybrid · family	-0.0214	0.0554	-0.39	0.7000
elec · family	-0.0173	0.0585	-0.30	0.7680
diesel · k	0.0003	0.0003	1.14	0.2560
hybrid · k	0.0002	0.0003	0.72	0.4700
elec · k	0.0005	0.0003	1.68	0.0930

Number of obs. = 11904
 LR $\chi^2(17)$ = 1238.89
 Log likelihood = -3739.8488
 Pseudo R² = 0.1421

4) 대형차 시장

대형차에 대한 효용함수 추정결과도 다른 자동차 시장의 경우와 비슷한 양상을 보인다. $X_{elec,j}X_{male,i}$ 의 변수가 1% 수준에서 유의하기 때문에 남성이 여성에 비해서 전기자동차를 더 선호한다고 말할 수 있다.

〈표 3-17〉 대형차 시장 효용함수 추정

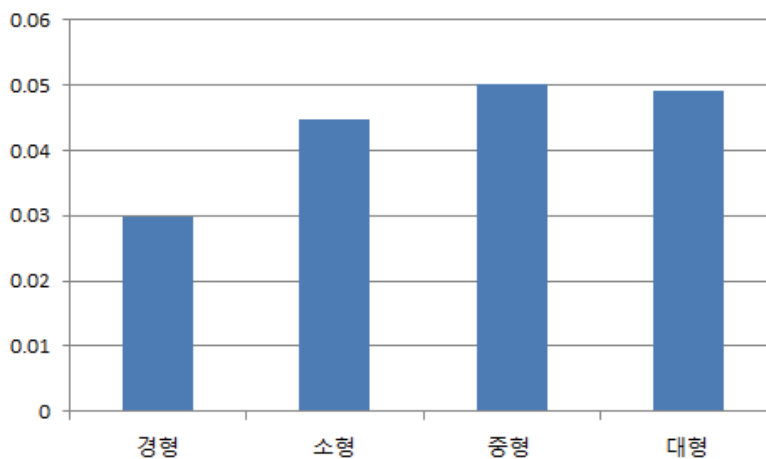
변수	계수	표준오차	z	P>z
diesel	0.0410	0.4044	0.10	0.9190
hybrid	-0.6195	0.4154	-1.49	0.1360
elec	-0.5039	0.4505	-1.12	0.2630
econ	0.0490	0.0035	14.21	0.0000
time	-0.0074	0.0021	-3.59	0.0000
CO ₂	-0.0016	0.0005	-3.14	0.0020
tax	-0.0123	0.0018	-6.97	0.0000
price	-0.0003	0.0000	-7.12	0.0000
diesel · male	0.0415	0.2166	0.19	0.8480
hybrid · male	0.1850	0.2285	0.81	0.4180
elec · male	0.7111	0.2457	2.89	0.0040
diesel · family	-0.0118	0.0867	-0.14	0.8920
hybrid · family	0.1097	0.0870	1.26	0.2080
elec · family	0.0059	0.0949	0.06	0.9510
diesel · k	0.0000	0.0004	-0.04	0.9640
hybrid · k	0.0004	0.0004	0.89	0.3730
elec · k	0.0000	0.0005	-0.06	0.9490

Number of obs. = 3432
 LR $\chi^2(17) = 302.04$
 Prob > $\chi^2 = 0$
 Log likelihood = -1105.7919
 Pseudo $\chi^2 = 0.1202$

5) 추정결과 비교

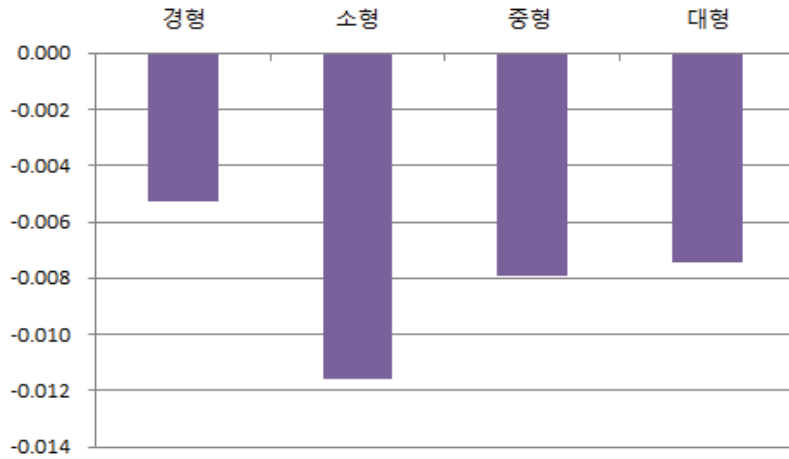
각 자동차 시장별로 추정된 계수를 비교해 보면, 연비에 대해서는 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 양의 계수를 보이고 있다. 이는 연비가 소비자들의 자동차 선택에 중요한 영향을 준다는 것을 의미한다. 중형차 시장에서 연비에 대한 계수가 가장 크고, 경차 시장에서는 가장 낮다. 이 결과는 경차가 기본적으로 연비가 높기 때문에, 경차 시장 내에서는 응답자들의 연비에 대한 민감성이 떨어지는 것으로 해석할 수 있다.

[그림 3-20] 연비 계수 추정결과 비교



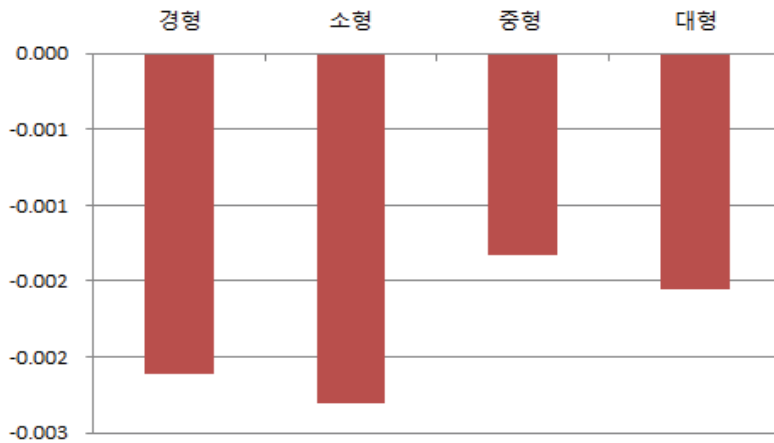
주유시간에 대해서는 모든 시장에서 1% 수준에서 유의한 음의 값을 가진다. 특히 주유 시간은 소형자동차 시장에서 소비자들에게 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 빠른 충전이 이루어지지 않을 경우 소형차 시장에서는 전기차에 대한 수요의 감소가 클 것으로 예상된다.

[그림 3-21] 주유시간 계수 추정결과 비교



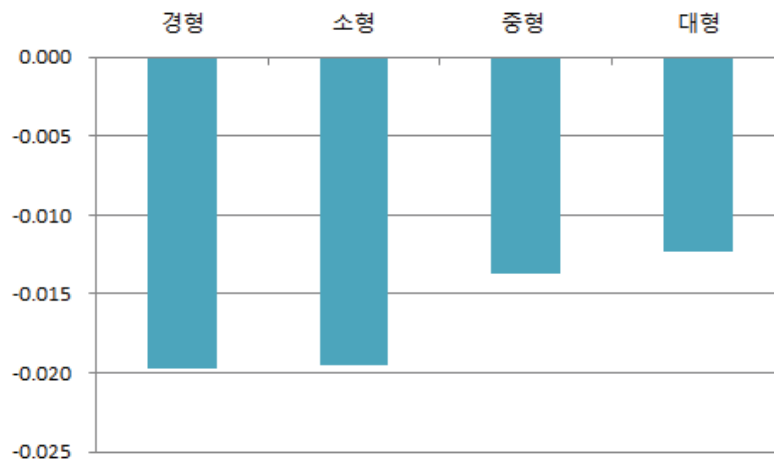
이산화탄소 배출에 대한 추정계수도 모두 1% 수준에서 통계적으로 유의한 음의 계수였다. 소형 시장에서 계수의 절댓값이 가장 크고, 중형에서 절댓값이 가장 작았다.

[그림 3-22] 이산화탄소 계수 추정결과 비교



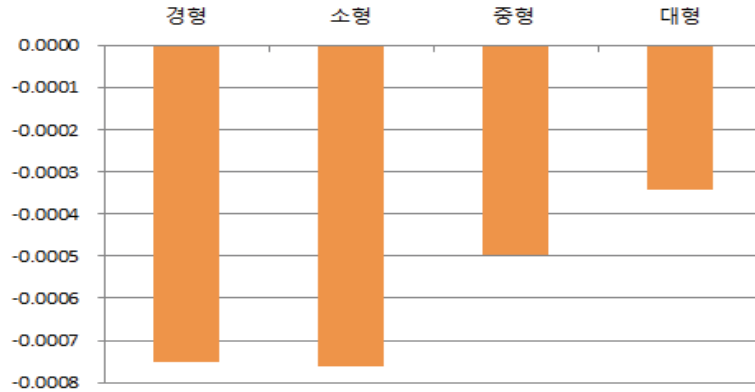
자동차세의 계수들도 모두 음수로서, 1% 유의수준에서 통계적으로 의미가 있었다. 중형과 대형시장에 비해서 경형과 소형차 시장에서 계수의 절댓값이 상대적으로 크다. 즉 자동차세에 대해서는 경차와 소형차 시장의 응답자들이 더욱 민감하게 반응하는 것으로 해석할 수 있다. 경·소형차를 구매하고자 하는 소비자들은 상대적으로 저소득층이므로 비용에 대해 민감할 것이다.

[그림 3-23] 자동차세 계수 추정결과 비교



자동차 가격에 대한 추정 계수들도 자동차세의 계수들과 유사한 형태를 보이고 있다. 모두 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 음의 값이고, 경차와 소형차 시장의 계수들의 절댓값이 중형과 대형차 시장의 계수들의 절댓값보다 크다. 역시 상대적으로 저소득계층이 차량가격에 민감함을 알 수 있다.

[그림 3-24] 자동차 가격 계수 추정결과 비교



자동차 연료에 관련된 변수들의 계수들은 대부분 10% 유의수준에서 유의하지 않은데, 그 원인은 변수들이 응답자들의 사회경제적 특성과 상호작용(interaction)하고 있을 가능성이 크기 때문이다. 이러한 문제점을 확인하기 위해 응답자들의 사회경제적 특성을 제외하고 효용함수를 추정하였다. 그 결과 경유, 플러그인 하이브리드, 전기차 모두 1% 수준에서 유의한 양의 계수가 추정되었다. 즉, 소비자들이 전통적인 휘발유차보다 경유차와 플러그인 하이브리드차, 전기차를 더 선호하고 있음을 알 수 있다.

응답자의 성별은 경유자동차 선택에 유의한 영향을 미치고 있는데, 남성이 여성보다 경유차를 선호하는 경향이 있다고 말할 수 있다. 플러그인 하이브리드와 전기자동차에 대해서는 성별의 차이가 유의하지 않지만, 대형자동차 시장에서는 전기차에 대한 남성의 선호가 여성보다 유의하게 크다. 가족구성원의 수는 자동차 연료선택에 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 중형차 시장에서 가구의 소득이 증가할수록 전기자동차에 대한 선호가 유의하게 높아졌다.

마. 시장 점유율 전망

1) 전망방법 및 시나리오 개요

각 자동차 시장별로 추정된 효용함수를 이용하여 친환경 자동차에 대한 수요를 전망할 수 있다. 횡단면 자료를 이용한 수요전망이기 때문에 설문조사의 응답자가 대표성을 가지고 있다는 기본 전제하에 수요 예측이 가능하다.

식 (3-20)과 추정된 효용함수를 이용하면 자동차 시장에서 자동차 종류에 따른 시장 수요를 예측할 수 있다(Lee and Cho, 2009).

$$S_j = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{h \in K} e^{V_{ih}}} \right) \right] / N \quad (3-20)$$

여기서 N 은 응답자 수이고, K 는 선택가능한 자동차 집합으로 각 응답자가 구입을 고려할 수 있는 자동차들이다.

각 종류별 승용차 시장수요를 예측하기 위해서는 각 자동차 시장에서 소비자들이 선택의 대상으로 고려할 수 있는 자동차들에 대한 특성이 확보되어야 한다. 기존의 연구들을 통해 향후 친환경 자동차의 기술개발 및 가격 수준에 대한 시나리오를 이용하여 자동차 특성들을 결정하였다. 본 연구에서는 두 개의 시나리오를 이용하여 친환경 자동차 수요를 예측하였다. 친환경차 보급 시나리오 I 은 현재 상용화 단계인 친환경 자동차의 기술수준에 대한 진전과 친환경 자동차에 대한 정부지원이 없는 상황을 가정하였다. 보급 시나리오 II는 빠른 기술 진보와 친환경 자동차 구매에 대한 정부 지원이 이루어지는 상황을 가정하였다.

우선 각 시나리오에서 차급별 자동차 시장별로 가장 인기 있는 휘발유 차량을 대표 차종으로 선정하였다. 경형차 시장에서는 기아 ‘모닝’을, 소형차 시장에서는 현대 ‘아반떼’를, 중형차 시장에서는 현대 ‘소나타’를, 대형차 시장에서는 현대 ‘그랜저’를 대표 차종으로 선택하였다. 대표차종의 속성에 기초해서 경유(클린디젤) 자동차, 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차, 전기자동차의 속성을 각 시나리오별로 결정하였다.

2) 친환경차 보급시나리오 I

친환경차 보급 시나리오 I은 하이브리드차와 클린디젤차를 제외한 플러그인 하이브리드차, 전기차에 대한 기술개발에 진전이 없고, 정부의 전기차 지원정책이 없는 것을 가정하여 친환경 자동차들의 속성을 결정하였다. 각 자동차 시장별로 친환경 자동차에 대한 기술수준의 차이는 거의 없는 것으로 간주하고, 휘발유 자동차 대비 클린디젤 자동차, 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차, 전기자동차의 속성을 가정하였다.

클린디젤 자동차의 기술수준은 휘발유 자동차에 비해서 연비는 30% 높고, 가격은 20% 상승, CO₂ 배출은 15% 감축되는 것으로 가정하였다. 현행 자동차 세제는 배기량을 기준으로 세금을 부과하기 때문에 자동차세는 휘발유 자동차와 동일한 것으로 가정하였고, 주유시간도 휘발유 자동차와 같은 5분으로 가정하였다.

하이브리드 자동차의 경우 휘발유 자동차 대비 연비는 50% 상승, 가격은 30% 상승, CO₂ 배출량은 40% 저감으로 가정하였다. 자동차세를 통해 하이브리드 자동차에 대한 특별한 지원이 없기 때문에 세

금은 동일한 것으로 가정하였고, 별도의 차량 충전이 필요 없기 때문에 주유시간도 5분으로 가정하였다.

플러그인 하이브리드 자동차의 속성은 휘발유 자동차에 비해 가격과 연비는 100% 증가, CO₂는 50% 감소되는 것으로 가정하였다. 배터리 충전은 급속 충전 시 30분, 완속(緩速) 충전 시 6시간 정도 소요되는 것으로 알려져 있으나, 실제 충전은 야간에 주차 상태에서 이루어지는 것이 일반적이다. 따라서 운전자들이 충전에 대해 느끼는 불편함은 6시간에 해당할 만큼 크지는 않을 것이므로, 최도영·이상열(2011, p.64)에 따라 충전시간은 60분으로 결정되었다. 보급 시나리오 I에서 플러그인 하이브리드 자동차에 대한 별도의 자동차세 지원이 없기 때문에 자동차세는 휘발유 승용차와 동일한 것으로 가정하였다.

마지막으로 전기로만 운행되는 순수 전기자동차 경우, 연비는 타 기술의 자동차들보다 훨씬 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 전기차의 연비는 휘발유 자동차보다 150% 높은 수준으로 가정하였고, 탄소배출량도 60% 저감되는 것으로 설정하였다. 순수 전기차의 연료 효율은 ‘WTW’(well-to-wheel)³³⁾을 기준으로 해야 하기 때문에 온실가스 배출이 ‘제로’가 될 수는 없다. 충전시간도 플러그인 하이브리드차와 동일한 60분으로 가정하였다. 그러나 대용량의 배터리가 필요하기 때문에 가격은 가장 높은 수준에서 형성될 것이다. 순수 전기차의 가격은 휘발유 자동차보다 250% 높은 수준으로 설정하였다.

33) 1차에너지원이 투입되어 전기에너지를 생산하고, 전기를 통해 구동에너지로 변환되는 과정을 의미한다. 즉, 전기차 구동 자체로는 온실가스 배출이 없으나, 자동차용 전기를 생산하기 위한 1차 에너지 투입을 기준으로 하면, 신재생에너지와 원자력만으로 전기가 생산되지 않는 한 전기차도 온실가스를 배출하게 된다.

〈표 3-18〉 친환경차 보급시나리오 I

자동차 속성	기준	CDV	HEV	PHEV	EV
연비	휘발유 자동차	30% ↑	50% ↑	100% ↑	150% ↑
주유시간		휘발유차와 동일	휘발유차와 동일	60분	60분
CO ₂ 배출		15% ↓	40% ↓	50% ↓	60% ↓
자동차세		휘발유차와 동일	휘발유차와 동일	휘발유차와 동일	휘발유차와 동일
자동차가격		20% ↑	30% ↑	100% ↑	150% ↑

각 자동차 시장별로 4개의 자동차 속성이 결정되면, 추정된 소비자들의 효용함수를 이용하여 각 응답자가 4개의 차량 중에서 하나를 선택할 확률을 계산하고, 차량에 대한 모든 응답자들의 선택확률들의 평균치를 계산하는 방법으로 차종별 선택확률을 도출하였다.

가) 경차 시장

경차 시장의 대표 휘발유 차종인 기아 ‘모닝’은 배기량이 998cc, 공인 연비는 19km/ℓ, 탄소배출량은 120g/km이다. 옵션에 따라서 차량가격이 830만 원부터 1300만 원까지 다양하게 형성된다. 본 연구에서는 제세공과금을 모두 고려하여 차량가격을 1,200만 원으로 결정하였다. 국내 자동차세 부과기준에 따라 자동차세는 연간 10만 원이다. 기준에 따라 경유, 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 전기차량의 연비는 각각 24.7km/ℓ, 28.5km/ℓ, 38km/ℓ, 47.5km/ℓ로 가정하였다. 탄소배출량은 휘발유 자동차보다 낮은 수준으로, 순수 전기자동차의 경우

48g/km으로 가정하였다. 자동차세는 모두 10만 원으로 고정되었으며, 자동차 가격은 전기자동차가 가장 높은 수준인 4,200만 원이다.

〈표 3-19〉 경차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	19	24.7	28.5	38	47.5
충전시간(min)	5	5	5	60	60
CO ₂ (g/km)	120	102	72	60	48
자동차세(만 원)	10	10	10	10	10
자동차가격(만 원)	1,200	1,440	1,560	3,600	4,200

경차 시장의 5개 차종에 대하여 응답자 95명의 선택확률을 계산하여 합산하면 몇 명이 각 자동차를 선택할지를 예상할 수 있다. 95명 중에서 휘발유 차량을 선택하는 사람이 21.6명, 경유 자동차를 선택하는 응답자는 32.7명, 하이브리드 자동차의 경우는 24.2명, 플러그인 하이브리드 자동차는 8.9명, 전기자동차 7.4명이다. 기준 시나리오 조건하에서 경유자동차에 대한 수요가 가장 높아질 것으로 예상되며, 하이브리드와 휘발유 자동차가 그 뒤를 이을 것으로 예상된다.

플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차의 선택확률은 각각 9.4%와 7.8%로, 현재 수준보다는 개선되나 다른 차종에 비해서는 높지 않을 것으로 전망된다.

〈표 3-20〉 경차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률 합	21.61	32.74	24.22	8.99	7.42	95
확률 평균	0.227	0.344	0.254	0.094	0.078	1

나) 소형차 시장

국내 소형차 시장의 대표 휘발유차 모델은 현대 ‘아반떼’이다. 다양한 옵션의 자동차 중에서 ‘GDI 1.6 Premier’를 기준 휘발유 자동차로 설정하였다. 배기량은 1,591cc이고, 연비는 16.5km/ℓ, 탄소배출량은 142g/km이다. 연간 자동차세는 27만 원 정도이고, 가격대는 1,340만 원부터 1,990만 원까지로 형성되나, 분석에서는 기준가격을 1,800만 원으로 가정하였다.

경유, 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 순수 전기차의 연비는 각각 21.45km/ℓ, 24.75km/ℓ, 33.0km/ℓ, 41.25km/ℓ로 결정되었다. 순수 전기자동차의 경우 탄소배출량은 56.8g/km로 가장 낮았고, 예상 가격은 4,500만 원으로 가장 높았다.

〈표 3-21〉 소형차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	16.5	21.45	24.75	33	41.25
충전시간(min)	5	5	5	60	60
CO ₂ (g/km)	142	120.7	85.2	71	56.8
자동차세(만 원)	27	27	27	27	27
자동차가격(만 원)	1,800	2,160	2,340	3,600	4,500

소형차 시장의 5개 차종에 대하여 248명의 응답자들의 선택확률을 합산한 결과, 각 차량을 선택하는 소비자는 휘발유 차가 56.0명, 경유 자동차는 73.6명, 하이브리드 자동차 61.2명, 플러그인 하이브리드 자동차 31.2명, 순수 전기자동차는 25.8명이다. 경유와 하이브리드, 휘발유 차량이 각각 20% 이상의 시장 수요를 가져갈 것으로 예상되고, 플러그인 하이브리드 자동차의 경우 12.6%, 순수 전기자동차는 10.4%의 시장 수요를 차지할 것으로 보인다. 경차 시장에 비해 플러그인 하이브리드 자동차 수요는 3.2%p, 전기자동차의 수요는 2.6%p 높다.

〈표 3-22〉 소형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률 합	56.02	73.61	61.21	31.28	25.84	248
확률 평균	0.226	0.297	0.247	0.126	0.104	1

다) 중형차 시장

국내 중형차 시장은 현대 ‘소나타’를 중심으로 형성되어 있다. 소나타의 다양한 옵션 중에서도 가장 일반적인 ‘GDI 2.0 Luxury’를 기준 휘발유차 모델로 설정하여 경유와 하이브리드, 플러그인 하이브리드, 순수 전기차의 특성을 가정하였다. 소나타의 배기량은 1,999cc이며, 공인연비는 14.0km/ℓ, 탄소배출량은 180g/km이다. 1,999cc급 차량에 대한 연간 자동차세는 52만 원 수준이고, 차량의 가격대는 2,210~2,900만 원으로 형성되어 있어, 기준 가격을 2,700만 원으로 설정하였다.

경유자동차의 연비는 18.2km/ℓ, 탄소배출량은 153g/km, 자동차 가격은 3,240만 원으로 가정하였다. 실제 소나타와 유사한 크기의 경유

자동차 모델인 ‘i40’의 연비 18.0km/ℓ, 탄소배출량 149g/km, 자동차 가격 3,100만 원과 큰 차이가 없다. 하이브리드 자동차는 연비가 21.0km/ℓ, 탄소배출량 108g/km, 차량가격 3,510만 원으로 가정하였다. 실제 비교대상인 소나타 하이브리드는 연비 21.0km/ℓ, 탄소배출 111g/km, 가격은 3,000만 원 수준으로, 연비와 탄소배출량은 유사하나 가격은 조금 높게 책정되었다. 플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차의 연비는 각각 28.0km/ℓ, 35km/ℓ로, 자동차 가격은 각각 5,400만 원, 6,750만 원으로 결정하였다.

〈표 3-23〉 중형차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	14	18.2	21	28	35
충전시간(min)	5	5	5	60	60
CO ₂ (g/km)	180	153	108	90	72
자동차세(만 원)	52	52	52	52	52
자동차가격(만 원)	2,700	3,240	3,510	5,400	6,750

496명의 응답자들이 중형차를 구입할 것이라는 의사를 밝혔고, 추정된 효용함수에 따라 5개의 차종을 선택할 확률을 응답자별로 도출하였다. 496명의 선택확률을 합산한 결과, 휘발유 차량을 선택한 사람은 113.6명, 경유 자동차는 153.4명, 하이브리드 자동차는 118.8명, 플러그인 하이브리드 자동차는 63.1명, 순수 전기자동차는 46.9명이었다. 경유 자동차의 시장 수요가 30%를 넘어설 것으로 전망되고, 하이브리드 자동차가 24%, 휘발유 자동차가 23%를 차지할 것으로 예상된다.

플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차는 각각 12.7%와 9.4%의 시장 수요를 차지할 것으로 전망되었다. 플러그인 하이브리드 자동차 수요는 소형차 시장의 수요와 큰 차이가 없으나, 전기자동차의 수요는 조금 낮게 전망되었다.

〈표 3-24〉 중형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률 합	113.61	153.47	118.83	63.14	46.93	496
확률 평균	0.229	0.309	0.239	0.127	0.094	1

라) 대형차 시장

오래전부터 국내 대형차 시장에서 가장 많이 팔리는 승용차는 ‘그랜저’였으며, 많은 대형 자동차들이 그랜저와 비교되기 때문에 ‘그랜저 3.0 Prime’을 기준 휘발유차 모델로 설정하였다. 이 모델은 배기량이 2,999cc, 공인연비는 11.6km/ℓ, 탄소배출량은 202g/km이다. 연간 자동차세는 약 80만 원이고 자동차 가격은 3,200만 원부터 4,400만 원까지 범위가 넓지만, ‘그랜저 3.0 Prime’급은 약 3,800만 원에 구매할 수 있는 것으로 알려져 있다.

그랜저를 기준으로 친환경 자동차들의 특성이 결정되었는데, 클린 디젤 자동차의 연비는 15.0km/ℓ이고, 순수 전기자동차의 연비는 29.0km/ℓ 수준이다. 플러그인 하이브리드 자동차와 전기자동차의 탄소배출량은 각각 101g/km와 80.8g/km로 결정되었고, 가격은 각각 7,600만 원과 9,500만 원으로 설정되었다.

〈표 3-25〉 대형차 시장 자동차 속성(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	11.6	15.08	17.4	23.2	29.0
충전시간(min)	5	5	5	60	60
CO ₂ (g/km)	202	171.7	121.2	101	80.8
자동차세(만 원)	80	80	80	80	80
자동차가격(만 원)	3,800	4,560	4,940	7,600	9,500

161명의 응답자가 대형 자동차를 구입할 것이라고 밝혔고, 추정된 효용함수를 이용하여 5종류의 차량에 대한 응답자들의 구입 확률을 도출하였다. 161명 중에서 43.8명이 휘발유 자동차를, 42.7명이 경유 자동차를, 44.6명이 하이브리드차를 구입할 것으로 예상되며, 플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기차를 선택하는 응답자는 각각 17.8명과 12.0명으로 전망된다. 하이브리드 자동차의 구입확률이 27.7%로 가장 높고, 휘발유차와 클린디젤차가 그 뒤를 따른다. 플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차에 대한 구입확률은 각각 11.0%와 7.4%로 전망된다.

〈표 3-26〉 대형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오 I)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률 합	43.80	42.70	44.64	17.81	12.02	161
확률 평균	0.272	0.265	0.277	0.110	0.074	1

3) 친환경차 보급시나리오Ⅱ

친환경 자동차 보급시나리오Ⅱ는 친환경 자동차 보급을 위해 정부의 정책이 지속적으로 이행되고, 순수 전기자동차에 대한 기술개발이 빠르게 이루어지는 경우를 가정한다. 현재 정부는 친환경 자동차 보급 지원 정책을 운용하고 있으나, 2012년 12월 31일까지(하이브리드차) 또는 2014년 12월 31일까지(순수 전기자동차)로 한시적이다. 그러나 본 시나리오에서는 친환경 자동차 보급지원 정책이 지속된다고 가정한다.

친환경 자동차 보급지원 정책은 하이브리드차와 순수 전기자동차에 적용되고 있다. 하이브리드 자동차는 개별소비세가 100만 원까지, 교육세는 30만 원까지 감면되며, 취득세도 140만 원까지 감면된다. 자동차 구입과 함께 의무적으로 매입해야 하는 도시철도채권이나 지역개발채권도 면제해 주고 있다.

〈표 3-27〉 하이브리드 자동차 보급지원 정책

하이브리드차 보급지원 정책	관련법규
<ul style="list-style-type: none"> 개별소비세 감면 <ul style="list-style-type: none"> 개별소비세 100만원(최대), 교육세 30만원(최대) 기간 : 2012. 12.31까지 	<ul style="list-style-type: none"> 조세특례제한법 제109조 (2009. 7월 시행)
<ul style="list-style-type: none"> 취득세 감면 <ul style="list-style-type: none"> 취득세 140만원(최대) 기간 : 2012. 12.31까지 	<ul style="list-style-type: none"> 지방세특례제한법 제66조 (2009. 7월 시행)
<ul style="list-style-type: none"> 도시철도채권 매입액 200만원 면제 <ul style="list-style-type: none"> 기간 : 2012. 12.31까지 	<ul style="list-style-type: none"> 도시철도법 시행령 별표2 (비고란 제2호 카목, 2009. 7월 시행)
<ul style="list-style-type: none"> 지역개발채권 매입액 150만원 면제 <ul style="list-style-type: none"> 기간 : 2009. 10월부터 소급 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 시·도별 조례 (2009. 9. 15일 발표)

자료: 한국자동차산업협회 홈페이지(<http://www.kama.or.kr>)

순수 전기자동차 보급지원 정책은 하이브리드 자동차보다 개별소비세를 더 많이 할인해 준다는 것과 2014년까지 적용된다는 점에서 차이가 있다.

〈표 3-28〉 전기자동차 보급지원 정책

전기자동차 보급지원 정책	관련법규
<ul style="list-style-type: none"> 개별소비세 감면 <ul style="list-style-type: none"> 개별소비세 200만원(최대), 교육세 60만원(최대) 기간 : 2012.1.1~ 2014.12.31(3년간) 	<ul style="list-style-type: none"> 조세특례제한법 제109조
<ul style="list-style-type: none"> 취득세 감면 <ul style="list-style-type: none"> 취득세 140만원(최대) 기간 : 2012.1.1~ 2014.12.31(3년간) 	<ul style="list-style-type: none"> 지방세특례제한법 제66조
<ul style="list-style-type: none"> 도시철도채권 매입액 200만원 면제 <ul style="list-style-type: none"> 기간 : 2012.1.1~ 2014.12.31(3년간) 	<ul style="list-style-type: none"> 도시철도법 시행령 별표2 (비고란 제2호 타목)

자료: 한국자동차산업협회 홈페이지(<http://www.kama.or.kr>)

개별소비세와 취득세 감면액은 자동차 구입비용을 감면액만큼 줄일 수 있다. 반면 도시철도 채권 매입액 면제나 지역개발채권 매입액 면제는 비용을 면제액만큼 줄여주지 않는다. 자동차 시장에서는 채권구입과 동시에 시장에서 채권을 할인하여 판매하기 때문에 채권 구입액 전부가 자동차 구입비용으로 고려되지 않는다. 따라서 채권매입액 면제 효과는 채권할인율에 의해 달라진다.

친환경 자동차 기술개발에서 가장 심혈을 기울이는 부품은 배터리이다. 순수 전기자동차의 경우 차량비용의 절반수준을 배터리 가격이 차지하기 때문에 배터리 기술개발 속도와 가격이 어떻게 변하느냐에 따라 전기자동차와 하이브리드 차량의 가격이 변동된다. 일반 휘발유 자동차와 배터리를 사용하는 하이브리드 자동차의 가격 차이도 대부

분 배터리 가격에서 발생한다고 한다. 현대 소나타와 기아 K5의 휘발유 자동차와 하이브리드 차량을 비교했을 때, 하이브리드 차량이 20% 정도 비싸고, 가격 차이는 대략 500만 원 정도이다. 닛산(Nissan)을 비롯한 주요 자동차 업체들의 배터리 개발 목표는 2020년까지 배터리 가격을 현재수준의 50%까지 낮추는 것이다(Solar&Energy, 2012). 그러나 IEA(2011)는 2010~2020년 사이 전기자동차(EV)의 배터리 가격 하락 속도를 연평균 약 3% 내외로 예상하고 있다.³⁴⁾ IEA의 연평균 배터리가격 하락률을 적용하게 되면 2020년의 배터리 가격은 2010년 수준의 74% 선에 머물게 된다. IEA가 예측하고 있는 가격 하락 속도가 2020년 이후에도 유지된다면, 배터리가격이 현 수준의 50% 내외까지 하락하는 시점은 대략 2035년이 될 것이다.

배터리 기술개발은 충전 시간 단축에도 영향을 미친다. 최첨단 급속 충전기술로 배터리 용량의 80%까지 충전하는데 25~30분 정도 소요된다고 한다. 그러나 배터리 충전에 대한 불편함을 해소하기 위해서는 충전시간을 10분 이내로 단축할 필요가 있다.

따라서 친환경차 보급시나리오Ⅱ에서는 배터리의 가격이 50% 낮아지는 것과 충전시간이 30분으로 줄어드는 것을 가정하였다. 그리고 그 시점은 2035년으로 가정한다. 일반 자동차와 하이브리드 또는 전기자동차와의 가격 차이가 배터리 가격에서 나는 것으로 가정하고, 배터리의 가격을 50% 할인하여 새로이 자동차 가격을 계산하였다. 또한 개별소비세와 취득세 할인을 추가하였고, 공채 할인을 20%를 적용하여 공채 매입 면제 조건을 자동차 가격에 반영하였다.

34) IEA는 배터리 비용이 2010년 500~600달러/kWh에서 2020년에 400달러/kWh로 하락할 것으로 전망하였다.

가) 경차 시장

기준 휘발유 차량 모델을 ‘모닝’으로 했을 때, 하이브리드 자동차와
의 가격 차이가 360만 원에서 180만 원으로 줄어 들어, 차량 가격은
1,380만 원으로 결정된다. 개별소비세 69만 원, 취득세 96.6만 원을
공제했을 때 소비자가 지불하는 금액은 1,214만 원이 된다. 경차는 공
채매입의 의무가 없기 때문에 공채 할인은 별도로 고려하지 않는다.
플러그인 하이브리드 자동차도 가격 차이가 1,200만 원으로 줄어들어
차량가격은 2,400만 원으로 결정된다. 또한 개별소비세와 취득세를 합
쳐 288만 원의 혜택이 주어지기 때문에, 소비가 가격은 2,140만 원이
된다. 마찬가지로 순수 전기자동차의 최종 소비자 가격은 2,425만 원
이 된다.

〈표 3-29〉 경차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	19	24.7	28.5	38	47.5
충전시간(min)	5	5	5	30	30
CO ₂ (g/km)	120	102	72	60	48
자동차세(만 원)	10	10	10	10	10
자동차가격(만 원)	1,200	1,440	1,214	2,140	2,425

동 시나리오Ⅱ에 의하면 순수 전기자동차와 경유(클린디젤)자동차
의 점유율이 상승할 것으로 전망된다. 전기자동차(21.9%)는 짧은
충전시간과 가격 경쟁력 향상으로 인해 시장 수요가 상당히 높아질

것으로 예상되며, 경유자동차(21.8%)는 상대적으로 낮은 가격과 높은 연비를 강점으로 하여 시장 수요를 유지할 것으로 전망된다. 뒤를 이어 플러그인 하이브리드 자동차(21.0%)와 하이브리드 자동차(20.9%)에 대한 상당한 수요가 있을 것이며, 휘발유 자동차에 대한 수요는 15% 미만으로 낮아질 것으로 예상된다.

〈표 3-30〉 경차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률 합	13.659	20.734	19.856	19.905	20.843	95
확률 평균	0.144	0.218	0.209	0.210	0.219	1

나) 소형차 시장

현대 ‘아반떼’ 휘발유 자동차를 기준 차량으로 하여 소형차 시장을 분석하였다. 소형 승용차부터는 소비자들이 채권을 구입해야 한다. 도시철도채권 또는 지역개발 공채를 구입해야 하는데, 본 연구에서는 도시철도채권을 기준으로 하였다. 1,000cc 이상 1,600cc 이하의 승용차를 구입할 때는 자동차 가격의 9%에 상당하는 채권을 매입해야 한다. 그러나 이 채권은 시장에서 할인하여 판매할 수 있기 때문에, 채권 구입 면제 혜택은 채권가격의 20% 만큼 비용을 상쇄하는 효과와 같다.

개별소비세와 취득세, 채권할인을 모두 고려하였을 때, 하이브리드 차량 가격은 1,784만 원, 플러그인 하이브리드차량 가격은 2,376만 원, 순수 전기자동차의 가격은 2,796만 원 정도로 예상된다.

〈표 3-31〉 소형차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	16.5	21.45	24.75	33	41.25
충전시간(min)	5	5	5	30	30
CO ₂ (g/km)	142	120.7	85.2	71	56.8
자동차세(만 원)	27	27	27	27	27
자동차가격(만 원)	1,800	2,160	1,784	2,376	2,796

친환경차 보급 시나리오Ⅱ의 상황에서는 순수 전기자동차의 약진이 예상된다. 소형 자동차 시장에서 순수 전기자동차의 시장 점유율은 28.5%에 이르고, 플러그인 하이브리드 자동차가 24.0%로 그 뒤를 이을 것으로 전망된다. 반면 휘발유 자동차의 수요는 가장 낮아져 12% 정도에 머물 것으로 예상된다.

〈표 3-32〉 소형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률합	29.593	38.999	49.364	59.430	70.614	248
확률 평균	0.119	0.157	0.199	0.240	0.285	1

다) 중형차 시장

현대 ‘소나타’를 기준 휘발유 모델로 설정하여 시나리오Ⅱ를 적용하였다. 중형차 시장에서는 차량금액의 12%에 해당하는 채권을 구입해야 한다. 개별소비세와 취득세, 도시철도채권 할인을 고려한 하이브리

드 자동차의 가격은 2,790만 원으로 낮아졌으며, 플러그인 하이브리드 자동차 가격은 3,613만 원, 순수 전기자동차 가격은 4,300만 원에 이른다.

〈표 3-33〉 중형차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	14	18.2	21	28	35
충전시간(min)	5	5	5	30	30
CO ₂ (g/km)	180	153	108	90	72
자동차세(만 원)	52	52	52	52	52
자동차가격(만 원)	2,700	3,240	2,790	3,613	4,300

시나리오Ⅱ에서 전기자동차와 플러그인 하이브리드 자동차의 시장 점유율은 각각 24.1%와 23.4%에 이르고, 하이브리드 자동차가 그 뒤를 이어 20.4%의 시장 수요를 차지할 것으로 예상된다. 경유 자동차의 경우 18.5%, 휘발유 자동차는 13.6%의 시장 수요를 확보할 것으로 전망된다.

〈표 3-34〉 중형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률합	67.681	91.528	101.229	115.876	119.683	496
확률 평균	0.136	0.185	0.204	0.234	0.241	1

라) 대형차 시장

대형차인 현대 ‘그랜저’를 기준 모델로 시나리오Ⅱ를 적용할 때에는

차량가격의 20%를 채권으로 구입해야 한다. 차량 가격을 계산해 보면 하이브리드 자동차는 개별소비세와 취득세, 채권할인을 모두 고려한 가격이 4,025만 원, 플러그인 하이브리드 자동차가 5,223만 원, 순수 전기자동차는 6,190만 원으로 예상된다.

〈표 3-35〉 대형차 시장 자동차 속성(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV
연비(km/l)	11.6	15.08	17.4	23.2	29
충전시간(min)	5	5	5	30	30
CO ₂ (g/km)	202	171.7	121.2	101	80.8
자동차세(만 원)	80	80	80	80	80
자동차가격(만 원)	3,800	4,560	4,025	5,223	6,190

대형차 시장에서는 휘발유와 경유 자동차의 점유율이 18% 정도에 머물 것으로 예상되며, 하이브리드 자동차의 시장 수요가 25.1%로 가장 높을 것으로 전망된다. 플러그인 하이브리드차와 순수 전기자동차의 시장 수요는 각각 20.5%, 18.9%로 하이브리드 승용차보다는 낮으나, 휘발유 및 경유 승용차보다는 약간 높게 형성될 것으로 예상된다.

〈표 3-36〉 대형차 시장 자동차 선택확률(보급시나리오Ⅱ)

구분	휘발유차	CDV	HEV	PHEV	EV	합계
확률 합	28.941	28.195	40.360	33.008	30.493	161
확률 평균	0.180	0.175	0.251	0.205	0.189	1

5. 차종별 승용차 시장 전망

가. 시나리오별 시장 전망 및 비교

1) 기준안

우리나라 차종별 승용차 시장 기준안 전망과 친환경차 보급 시나리오 전망 간의 차이를 쉽게 비교하기 위하여 제3절(전체 승용차 시장 전망)에서 도출된 기준안 결과를 <표 3-37>에서 간략히 요약하였다.

〈표 3-37〉 승용차 총 등록대수 전망(기준안)

(단위: 천 대)

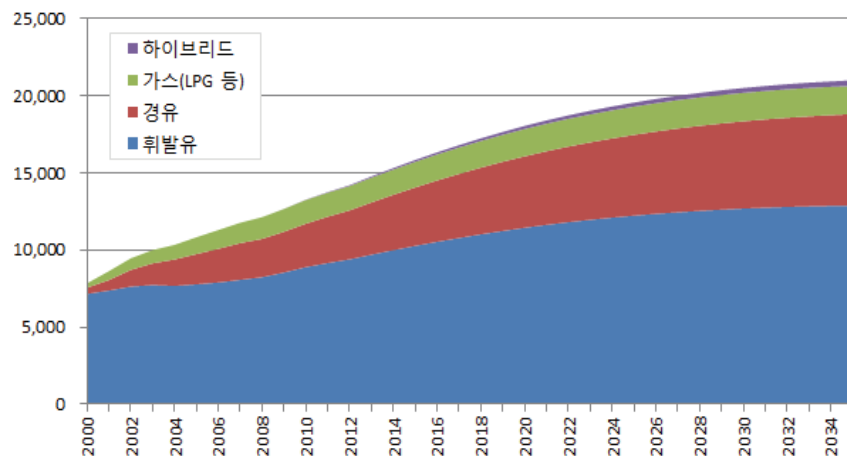
구분	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035
승용차 합계	7,834	13,260	15,840	18,046	19,561	20,509	21,006
내연기관	7,832	13,239	15,717	17,844	19,296	20,192	20,640
- 휘발유	7,155	8,889	10,262	11,439	12,225	12,685	12,881
- 경유	398	2,817	3,794	4,635	5,243	5,663	5,935
- LPG/CNG	279	1,533	1,661	1,770	1,829	1,844	1,824
하이브리드	0	18	120	199	261	314	362
- 휘발유+전기	0	7	90	157	209	254	296
- LPG+전기	0	11	30	43	52	60	66
PHEV(+휘발유)	0	0	0	0	0	0	0
EV	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
기타	1.2	2.6	2.6	3.0	3.2	3.4	3.5

‘KEEI-EGMS’ 모형의 확장된 수송부문 모듈을 이용하여 전망한 우리나라 승용차 총 등록대수는 2010년 1,326만 대에서 연평균 1.9%의 속도로 증가하여 2035년에 2,100만 대에 달할 것으로 예상된다. 내연

기관 승용차는 연평균 1.8% 증가하는 데 머물 것이며, 하이브리드 차는 연평균 12.7%의 증가율을 기록할 전망이다. 전통적인 내연기관 휘발유 승용차가 2035년에도 여전히 전체 승용차의 61.3%를 점유할 것으로 보여, 2010년(67.0%) 대비 점유율 하락 폭이 그리 크지 않을 것으로 예상된다. 반면 경유(클린디젤)차는 2035년에 전체 시장의 28.8%를 점유하여 2010년(21.3%)보다 비중이 확대될 전망이다.

[그림 3-25] 승용차 차종별 등록대수(기준안)

(단위: 천 대)



1) 친환경차 보급시나리오 I

배기량 크기로 구분된 4개의 자동차 시장에서 차종별 수요 비율³⁵⁾을 비교해 보았다. 친환경차 보급 시나리오 I에 가정된 기술수준과 가

35) 각 차급을 구매하려는 설문조사 응답자들의 차종별 선택 확률의 평균치를 의미한다.

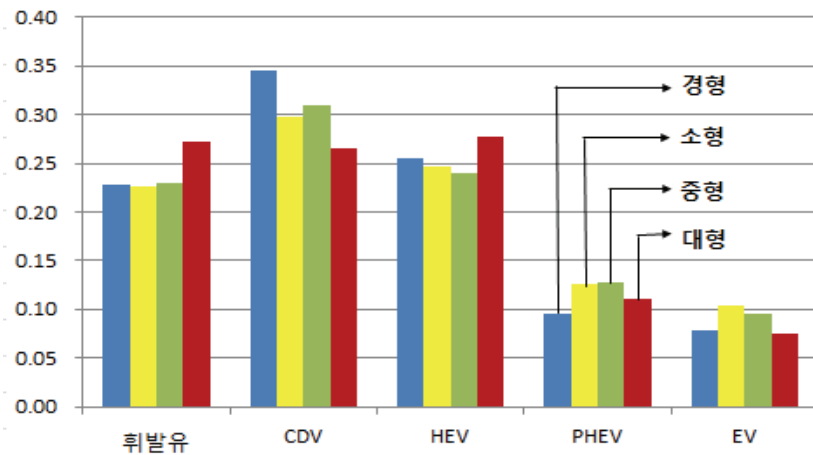
격을 이용하여 자동차 시장을 예측해 보면 경유(클린디젤) 자동차의 수요가 점차 확대될 것으로 예상된다. 경유차는 대형 자동차 시장을 제외한 나머지 시장에서 가장 수요 점유율이 높을 것으로 전망되었다. 경유 자동차가 대형차 시장에서 수요가 낮아지는 이유는 진동·소음 등 ‘승차감’ 때문인 것으로 판단된다. 대형 자동차 구매자들은 편안한 승차감을 중요시하는 경향이 강하기 때문에, 휘발유차와 하이브리드 자동차보다 승차감이 떨어질 수 있는 경유 자동차에 대한 선호가 낮아지는 것으로 보인다.

하이브리드 자동차도 25% 수준의 시장 수요를 확보할 것으로 예상되었으며, 특히 대형차 시장에서 수요가 가장 높을 것으로 나타났다. 이는 대형 자동차 시장에서 경유 자동차에 대한 수요가 하이브리드차로 옮겨갔기 때문일 것이다. 휘발유 자동차도 22% 정도의 수요를 확보할 것이며, 대형차 시장에서는 점유율이 27%로 높아진다. 플러그인 하이브리드 자동차는 10% 정도의 수요를 확보할 것으로 나타났는데, 충전에 대한 부담으로 수요 확대가 더 이상 어렵기 때문일 것이다. 순수 전기자동차도 약 8%대의 수요 확보에 머물 것으로 보이는데, 긴 충전시간 및 높은 가격에 대한 부담으로 수요가 상대적으로 낮다.

플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차의 수요를 시장별로 비교하면 경차와 대형차 시장에서 수요가 낮아지는 경향이 있다. 경차는 이미 연비가 높기 때문에 친환경차의 장점이 크게 부각되지 않는다는 점이 원인인 것으로 분석된다. 대형차의 경우는 주요 소비자가 안전성과 편안함을 추구하는 고소득 계층 중심이므로 자동차의 친환경성에 대한 관심이 상대적으로 낮기 때문일 것이다.

[그림 3-26] 자동차 시장별 수요 비율(보급시나리오 I)

(단위: %)



기준안에서 예측된 우리나라의 총 등록대수 및 차종별·차급별 신규 승용차 등록대수에 보급 시나리오 I에서 전망한 차종별·차급별 시장 수요비율을 적용하면, 새로운 세부 차종별 신규 등록대수와 총 등록대수를 도출할 수 있다.³⁶⁾ 컨조인트법을 이용한 시나리오 I의 신규 시장(등록대수) 점유율 전망시점을 2035년으로 간주하였다.³⁷⁾ 그 이유는 시나리오 II에서 배터리가격이 현 수준의 50%로 하락하는 시점을 2035년으로 가정하였기 때문이다. 이렇게 되면, 기술개발 속도 및 정책의 변화로 인한 효과를 연도별로 비교할 수 있다.

2035년의 경차 시장규모는 11만 1천 대로 예상되며, 그중에서 휘발

36) 전술하였듯이 내연기관 가스 자동차(LPG/LNG/CNG)와 기타 자동차(알코올, 태양광 등)는 시장 점유율 예측 대상에서 제외되어 있다. 따라서 시나리오 분석 시, 가스 자동차와 기타자동차 판매대수는 외생변수로 간주, 기준안의 판매대수와 동일한 것으로 가정하였다. 즉, 본 연구의 차급별·차종별 시장 점유율은 가스 및 기타자동차를 제외한 총량에서의 비중을 의미한다.

37) 2011~2035년 사이의 연도별 승용차 신규 등록대수 전망을 위해서 2011년의 시장점유율이 2035년 예측 수준에 이르기까지 선형으로 변화한다고 가정하였다.

유 자동차가 2만 5천 대, 경유차는 3만 8천 대, 하이브리드 자동차 2만 8천 대, 플러그인 하이브리드 자동차 1만 대, 순수 전기자동차는 약 9천 대를 차지할 것으로 전망된다. 소형 승용차 시장 규모는 28만 9천 대 수준이며, 그중 경유 자동차의 수요가 8만 6천 대로 가장 높고, 순수 전기자동차의 수요는 3만 대로 가장 낮다.

전체 시장을 연료별·기술별로 살펴보면, 총 114만 3천 대(가스·기타 차량 제외) 중에서 휘발유차에 대한 수요가 26만 8천 대로, 전체 시장의 23.4%를 차지할 것으로 전망된다. 경유 자동차와 하이브리드 자동차는 각각 34만 6천 대, 28만 4천 대의 수요가 있을 것으로 예상된다. 플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차의 시장 수요는 각각 12.1%와 9.3%의 수준에 머물 것으로 나타났다.

〈표 3-38〉 2035년 승용차 신규 등록대수(보급시나리오 I)

(단위: 천 대)

구분	휘발유	경유	HEV	PHEV	EV	합계
합계	268	346	284	139	106	1,143
경형	25	38	28	10	9	111
소형	65	86	71	36	30	289
중형	132	179	138	73	55	577
대형	45	44	46	18	12	166

주: 합계에는 가스(LPG/LNG/CNG) 자동차 및 기타(알코올 등) 자동차 대수가 제외되어 있음. 이들 차량(9만 6천 대)을 합할 경우 총 신규등록대수는 123만 9천 대임.

아래 표에 시나리오 I의 연도별 총 등록대수를 연료·기술별로 정리하였다. 각 연도별 총 등록대수는 기준안과 동일하며, 신규 차량 종류별 판매량 변동에 따라 연료·기술별 구성 비율에서 차이가 발생한다.

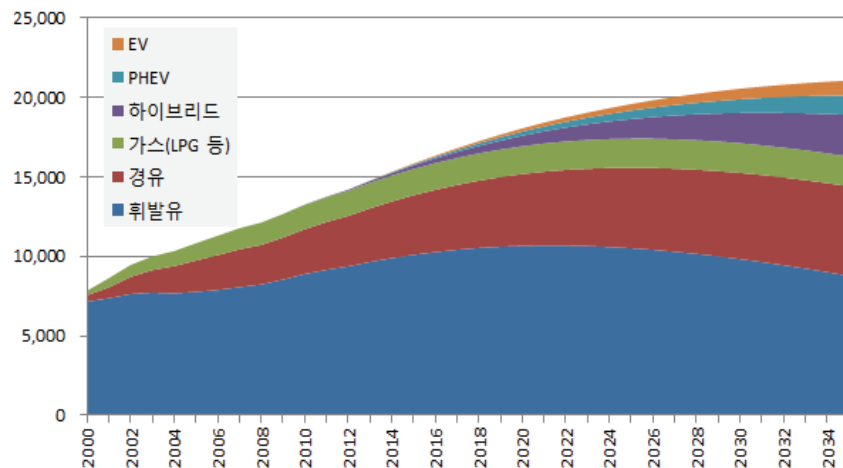
〈표 3-39〉 승용차 총 등록대수 전망(보급시나리오 I)

(단위: 천 대)

구분	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035
승용차 합계	7,834	13,260	15,840	18,046	19,561	20,509	21,006
내연기관	7,832	13,239	15,497	16,933	17,407	17,124	16,283
- 휘발유	7,155	8,889	10,099	10,664	10,516	9,834	8,775
- 경유	398	2,817	3,744	4,515	5,059	5,419	5,635
- LPG/CNG	279	1,533	1,654	1,753	1,833	1,871	1,874
하이브리드	0	18	232	660	1,234	1,900	2,617
- 휘발유+전기	0	7	181	536	1,016	1,584	2,204
- LPG+전기	0	11	51	125	217	316	413
PHEV(+휘발유)	0	0	62	261	534	864	1,227
EV	0	0	49	201	409	661	937
기타	1	3	3	3	3	3	3

[그림 3-27] 승용차 차종별 등록대수(보급시나리오 I)

(단위: 천 대)



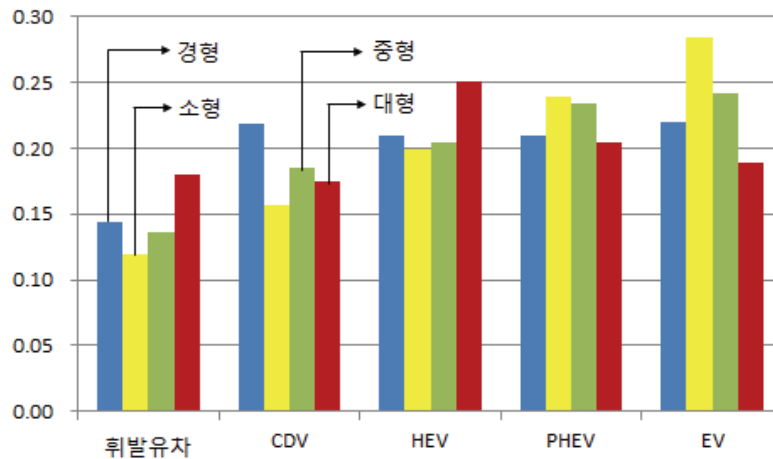
2) 친환경차 보급시나리오Ⅱ

친환경차 보급 시나리오Ⅱ에서는 순수 전기자동차와 플러그인 하이브리드 자동차의 수요 증가가 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 소형차와 중형차 시장에서는 순수 전기자동차가 가장 높은 수요를 확보할 것으로 예상된다. 그 이유는 가격 대비 EV의 높은 연비가 부각되어 대형차를 선호하는 고소득층보다는 비교적 비용에 민감할 수밖에 없는 저·중간소득 계층의 수요가 집중되기 때문일 것이다. 경차 시장에서는 경유 자동차가 지속적으로 높은 수요를 확보할 것으로 전망된다. 경차 시장에서는 경유 자동차가 상대적으로 저렴하고, 전기자동차에 비해 뒤지지 않는 연비를 가지기 때문에, 경유 차량에 대한 인기가 지속될 것으로 예상된다.

대형자동차 시장에서는 하이브리드 자동차의 수요가 가장 높을 것으로 전망된다. 이는 차량의 안정성과 편의성을 추구하는 대형차 소비계층은 순수 전기자동차와 플러그인 하이브리드 자동차의 가격 하락을 장점으로 인식할 것이나, 여전히 30분이 걸리는 충전시간에 부담을 느끼기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 충전이 필요 없는 하이브리드 자동차에 대한 선호가 높아진다고 해석할 수 있다.

[그림 3-28] 자동차 시장별 수요 비율(보급시나리오Ⅱ)

(단위: %)



기준안의 총 등록대수 및 차종별·차급별 신규 승용차 등록대수에 보급 시나리오Ⅱ에서 전망한 차종별·차급별 시장 수요비율을 적용하여 세부 차종별 신규 등록대수와 총 등록대수를 도출하였다.

시나리오Ⅱ에서는 휘발유 승용차가 2035년에 15만 9천 대 정도 판매되어 가장 수요가 낮을 것으로 예상되었다(판매점유율 13.9%). 대신 순수 전기자동차의 수요가 급증하여 2035년에 27만 7천 대의 수요가 발생할 것으로 예상되었는데, 이는 2035년 전체 자동차 내수 규모(가스·기타차량 제외)의 24.3%에 해당한다. 다음으로 플러그인 하이브리드 자동차(22.9%)와 하이브리드 자동차(21.0%), 경유 자동차(18.0%)가 뒤를 이을 것으로 전망된다.

〈표 3-40〉 2035년 승용차 신규 등록대수(보급시나리오Ⅱ)

(단위: 천 대)

구분	휘발유	경유	HEV	PHEV	EV	소계
합계	159	205	240	261	277	1,143
경형	16	24	23	23	24	111
소형	34	45	57	69	82	288
중형	79	106	118	135	139	577
대형	30	29	42	34	32	166

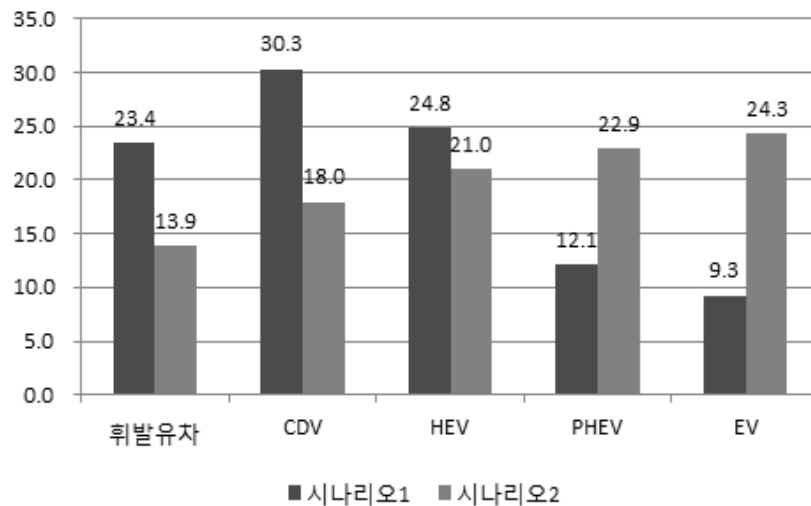
주: 합계에는 가스(LPG/LNG/CNG) 자동차 및 기타(알코올 등) 자동차 대수가 제외되어 있음. 이들 차량(9만 6천 대)을 합할 경우 총 신규등록대수는 123만 9천 대임.

친환경차 보급 시나리오Ⅰ과 Ⅱ를 비교해보면 친환경 자동차 정책과 기술개발로 인해 2035년 순수 전기자동차와 플러그인 하이브리드 자동차의 수요가 각각 9.3%에서 24.3%로, 12.1%에서 22.9%로 크게 증가할 것으로 예상된다.

그러나 휘발유와 경유, 하이브리드 자동차의 수요 점유율은 감소할 것으로 예상된다. 경유자동차 시장 수요가 30.3%에서 18.0%로 가장 많이 줄어든 것으로 전망된다. 이는 전기자동차(HEV, PHEV, EV) 보급 정책으로 인해 경유 자동차의 장점으로 부각되는 상대적으로 낮은 가격과 높은 연비가 더 이상 소비자에게 큰 매력을 주지 못하기 때문인 것으로 해석된다. 휘발유 승용차의 수요도 23.4%에서 13.9%로 9.5%p나 하락할 것으로 예상된다.

[그림 3-29] 시나리오별 승용차 신규 수요 비율 변화(2035년)

(단위: %)



시나리오Ⅱ의 총 등록대수를 보면, 전통적인 내연기관 승용차의 보유 비율은 2010년에 절대적인 수준(99.8%)을 차지하였으나, 2035년에는 67.0%로 하락할 것으로 예상된다. 순수 전기자동차는 2035년에 11.7%, 플러그인 하이브리드 자동차는 11.0%, 하이브리드차는 10.6%로 엇비슷한 보급률을 기록할 전망이다. 경유승용차는 클린디젤차의 친환경성과 연비에 대한 매력으로 인해 보유 비율이 2010년 21.2%에서 2035년 20.9%로 변화하여 큰 차이는 없을 것으로 예상된다.

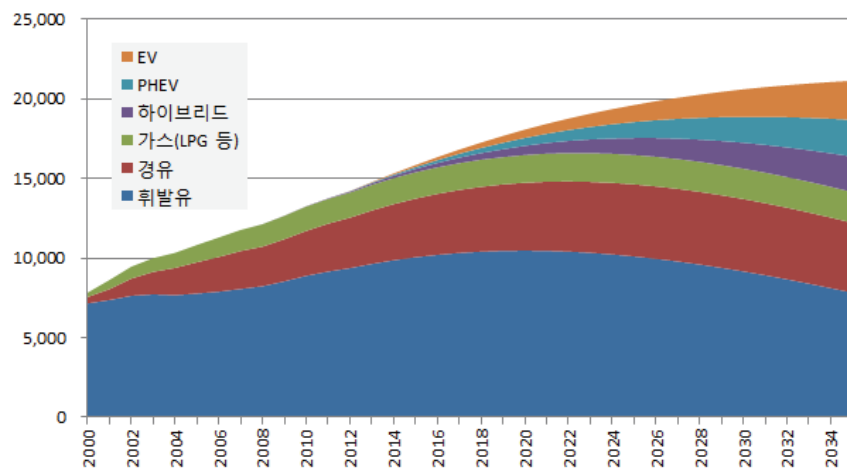
〈표 3-41〉 승용차 총 등록대수 전망(보급시나리오Ⅱ)

(단위: 천 대)

구분	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035
승용차 합계	7,834	13,260	15,840	18,046	19,561	20,509	21,006
내연기관	7,832	13,239	15,387	16,473	16,473	15,616	14,143
- 휘발유	7,155	8,889	10,052	10,470	10,105	9,162	7,817
- 경유	398	2,817	3,684	4,264	4,526	4,547	4,391
- LPG/CNG	279	1,533	1,651	1,739	1,842	1,907	1,935
하이브리드	0	18	213	582	1,068	1,630	2,231
- 휘발유+전기	0	7	166	471	880	1,359	1,881
- LPG+전기	0	11	47	110	188	270	350
PHEV(+휘발유)	0	0	117	491	1,005	1,627	2,310
EV	0	0	125	523	1,068	1,728	2,453
기타	1	3	3	3	3	3	3

[그림 3-30] 승용차 차종별 등록대수(보급시나리오Ⅱ)

(단위: 천 대)



나. 시사점

소비자들의 응답에 기초하여 자동차 수요를 전망한 결과, 친환경차 보급 시나리오Ⅱ에서 플러그인 하이브리드 자동차와 순수 전기자동차의 약진이 예상된다. 친환경차 보급시나리오Ⅰ에서는 클린디젤 자동차에 대한 시장 점유율이 높은데, 이는 높은 연비 대비 상대적으로 낮은 가격이 소비자들의 구매를 유인하였기 때문이다. 그러나 친환경차 보급시나리오Ⅱ에서는 경유자동차의 장점이 희석되어, 오히려 플러그인 하이브리드 자동차나 순수 전기자동차의 수요가 증가할 전망이다.

하이브리드 자동차는 예상대로 승용차 시장이 내연기관 차량에서 PHEV, EV 등 전기차로 옮겨가는 과정에서 발생하는 과도기적 수요를 담당할 것으로 보인다. 시나리오Ⅰ에서는 하이브리드 자동차가 경유 자동차에 비해 낮은 수요를 형성하지만 플러그인 하이브리드 차 또는 전기자동차보다는 높은 수요를 가진다. 그러나 기술개발의 진행과 환경친화적 정책으로 인해 플러그인 하이브리드 차와 전기자동차의 경쟁력이 강화된다면, 하이브리드 자동차에 대한 수요는 상대적으로 낮아질 것으로 전망된다.

휘발유 자동차의 경우 시나리오Ⅱ에서 가장 수요가 낮아질 것으로 예상된다. 향후 배터리 등 전기자동차의 기술개발이 진전될수록 휘발유 자동차의 가격과 연비로는 더 이상 수요를 창출하기 힘든 구조가 될 것이 확실시된다.

전기자동차에 대한 수요는 기술개발 속도뿐만 아니라 정부의 정책에 의해 조절될 수 있기 때문에, 정부의 수송부문 온실가스 및 에너지 수요 감축 의지가 향후 전기자동차의 수요를 결정하는 데 매우 중요한 요인이 될 것이다.

제4장 전기자동차 보급의 에너지수급 및 온실가스 배출 영향

1. 주요 선행 연구

가. 해외 연구

1) Wu et al.(2012)

중국 정부는 미래의 ‘지속가능한 교통 구현’을 위한 핵심 과제로 ‘자동차의 전기화’(electrification)를 선정하고 적극적으로 관련 정책을 추진하고 있다. 그 일환으로 하이브리드차(HEV), 플러그인 하이브리드차(PHEV) 및 순수 전기자동차(EV)에 대한 시범사업이 중국 내 수십 개의 대도시에서 광범위하게 시행되고 있다(Wu et al., 2012).

이 논문은 중국에서 상대적으로 경제발전이 빠른 ‘징진지’(Jing-Jin-Ji), ‘양쯔강 삼각주’(Yangtze-River-Delta), ‘주강 삼각주’(Pearl-River-Delta) 등 세 지역을 선정하고, 전기자동차의 보급이 각 지역의 화석에너지 수요와 CO₂ 배출에 미치는 영향을 평가하였다.³⁸⁾ 이 연구에서는 이들 지역의 소형 승용차시장 성장 패턴을 살펴보고, 고평가 함수를 이용하여 2010~2030년 기간 동안의 HEV, PHEV 및 EV 보급

38) HEV, PHEV, EV 및 전통적인 내연기관 자동차의 ‘WTW(Well-to-Wheel)’ 기준 에너지 소비량과 CO₂ 배출량을 계산하기 위하여 ‘GREET 1.8d’ 모델을 사용하였다. 이 모델은 1995년 이래 아르곤 국립연구소(Argonne National Laboratory: ANL)가 개발한 GREET 시리즈 모델이며, 파라미터에 대한 가정을 통해 다양한 자동차 연료·기술과 관련된 에너지 사용 및 온실가스 배출량 변화 효과를 쉽게 분석할 수 있도록 해준다.

를에 대한 4개의 시나리오를 설정하였다.

시나리오1은 보수적인 안으로 HEV, PHEV 및 EV의 보급은 시장원리에 맡겨진다. 반면 시나리오 2~4는 전기자동차 보급에 대해 보다 낙관적인 상황을 상정하였다. 특징적인 것은 각 시나리오마다 시장을 주도하는 차종을 달리 했다는 것이다. 시나리오2는 PHEV보다 HEV가 선호되는 안이고, 시나리오3은 PHEV가 시장을 주도하는 안이며, 시나리오4는 EV 시장이 빠르게 성장하는 상황을 가정하였다. 또한 산업계에서 주요 배터리 기술 장애요인들을 신속하게 극복하고, 충전 인프라가 광범위하게 보급되는 상황을 상정하였다.

Wu et al.(2012)은 PHEV 및 EV의 활성화는 석유 사용량을 현저히 줄이는 데 도움이 될 수 있지만, 연구 대상 지역에서 석유 수요 감소로 인한 혜택을 보려면 많은 시간이 필요함을 지적하였다. 또한 CO₂ 배출량 저감은 화석 에너지(석유 등)를 줄이는 것보다 훨씬 더 힘들다는 점을 강조하였다. 특히, 석탄의 발전원 구성 비중이 압도적으로 높은 징진지 지역의 경우 승용차용 전력 수요를 충족하기 위해서는 석탄 수요가 증가하기 때문에 온실가스를 줄이는 것은 어려운 일이라고 하였다. 즉, 석탄 발전의 비중이 높은 지역에서 ‘WTW(Well to Wheel)’ 기준, 즉 에너지 생산(공급)에서 소비까지의 전 단계에서 배출되는 CO₂를 줄이려면, PHEV나 EV보다는 HEV가 보다 나은 대안이 될 수 있음을 지적하였다.³⁹⁾ 반면, 에너지 구성이 훨씬 친환경적인

39) 전원 구성은 PHEV와 EV의 CO₂ 배출량과 ‘WTW’ 기준 에너지 사용량에 영향을 주는 핵심 변수이다. 징진지 지역은 중국 북북 그리드(Northern China Grid)에 속하는데, 이 지역은 압도적으로 석탄화력 발전소가 많은 곳으로, 현재 석탄이 총 발전량의 95%를 차지한다. 반면 주강 삼각주 지역(Southern China Grid)은 발전원 구성이 비교적 환경 친화적이다. 석탄 발전 비중은 60% 수준이고 수력, 천연가스 및 원자력이 각각 29%, 3% 및 5%를 차지하고 있다.

주강 삼각주 지역에서는 EV 보급 장려로 CO₂ 배출량을 크게 줄일 수 있음을 보였다.

본 논문이 제공하는 시사점은 지역(전력망)별 전원 구성의 차이에 따라 전기자동차 보급의 에너지 및 환경 영향이 크게 달라진다는 점이다. 즉, 향후 중국이 ‘신에너지 자동차 계획’을 수립·추진하는 데 있어서 지역 간의 에너지 수급 환경 차이를 고려해야 한다는 것이다. 또한, 중국이 ‘자동차 전기화’를 성공시키기 위해서는 보다 많은 정책 수단⁴⁰⁾을 결합하여 추진해야 함을 지적하였다.

2) Yabe et al.(2012)

Yabe et al.(2012)은 일본의 경우 승용차부문의 이산화탄소 배출을 줄이기 위해서는 높은 배터리 비용에도 불구하고 전기차(EV)와 플러그인 하이브리드 차(PHEV)의 대량 도입이 필요함을 주장하였다.⁴¹⁾

이 논문은 리튬이온 배터리에 대한 학습곡선(learning curve), 각 차량의 1일 주행거리 분포, 차량 충전을 위한 최적 전력발전 계획모형(optimal power generation planning model)을 이용해 미래에 EV 및 PHEV가 시장에 침투하는 속도와 전기자동차의 보급 확산이 CO₂ 감축에 미치는 영향을 예측하였다. Yabe et al. (2012)은 2010부터 2050년까지를 분석 기간으로 설정하고, 전력공급 부문과 승용차 부문을 통

40) 석탄 발전소에 대한 탄소 포집 및 저장(Carbon Capture & Storage: CCS) 기술 적용, 전력 생산 및 자동차의 효율 개선, 친환경 발전 및 신재생 바이오연료 확대 등이 있다.

41) 일본의 총 CO₂ 배출량은 2009년에 약 1.14조 kg이었는데, 이중 발전부문이 총 배출량의 31%, 산업부문이 28%, 그리고 수송부문이 19%를 차지했다. 일본에서 CO₂를 대폭 감축하기 위해서는 승용차의 CO₂ 배출을 줄이는 것이 필수적이다. 개인용 승용차는 수송부문 배출의 50%, 총 배출량의 10%를 차지한다(Yabe et al., 2012).

합하여 최적화하는 모형을 구성하여 EV와 PHEV의 확산속도를 평가하였다.

이 연구의 기본 가정 하에서 최적계산(optimum calculation)을 수행한 결과, 2050년에도 EV 및 PHEV의 점유율은 25% 수준에 머물 것으로 전망되었다. 승용차 소비자의 경제적 관점을 고려하면, EV 및 PHEV의 신규 시장 점유율 증가 속도는 상당히 느릴 것으로 평가된 것이다. 그러나 배터리의 초기가격과 가격하락률은 전기자동차의 점유율에 커다란 영향을 미친다. 그러므로 배터리 가격 하락을 통해 CO₂ 감축을 도모하기 위해서는 정부의 장기적인 인센티브 정책(보조금 등 재정 지원)과 혁신적인 기술개발이 필요하다고 강조하였다. 본 연구에서 도출된 주요 결과들을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 비록 PHEV 및 EV의 대규모 도입이 CO₂ 배출을 크게 줄일 수 있는 잠재력이 있지만, 차량 소유자의 경제적 관점과 리튬이온 배터리의 학습곡선을 고려하면 전기자동차의 시장 침투속도는 그렇게 빠르지 않을 것이다. 둘째, 장기적인 정부 보조금과 기술 혁신이 없다면 2030년에 신규 차량 2대 중 1대를 친환경 차량으로 보급한다는 일본 정부의 목표는 달성되기 어려울 것이다. 셋째, 비록 후쿠시마 원자력발전소 사태를 고려하여 일본의 CO₂ 저감정책이 다시 수립될 수도 있지만, 에너지 효율이 높은 PHEV와 EV의 도입은 총 CO₂ 배출량을 지속적으로 줄일 수 있는 효과적이고 합리적인 정책 수단이다.

3) Egbue and Long(2012)

이 연구의 목적은 소비자의 전기자동차 선택을 가로막는 잠재적인 사회·기술적 장벽(barriers)을 찾아내고, 소비자들이 전기차 구매를

결정하는 데 영향을 주는 요인들을 도출하는 것이다. 연구자들은 전기자동차가 가까운 미래에 승용차 부문의 화석 연료 소비 및 온실가스 배출을 줄일 수 있는 매력적인 기술임을 강조한다. 그러나 전기자동차를 광범위하게 보급하기 위해서는 극복해야 할 다양한 장애물이 있음을 지적하였다. 이들은 신뢰성이 입증되지 않은 새로운 기술(제품)에 대한 소비자들의 거부 경향이 전기자동차를 보급하는 데 있어서 가장 큰 장애물이라고 하였다.

연구를 위해 인터넷 기반의 설문조사(survey)를 실시하였고, 총 500개의 표본자료 중 481개를 분석에 활용하였다. 설문조사 설계의 방향은 우선 전기자동차에 대한 소비자들의 지식(knowledge), 관심(interests), 인식(perceptions), 태도(attitudes), 지속 가능성(sustainability)을 평가하고, 잠재적인 전기자동차 소유자들을 특성에 따라 그룹화 하여 전기차 보급에 대한 장애요인들을 쉽게 도출할 수 있도록 하는 것이다. 두 번째는 교육 수준, 성별, 경력, 소득을 포함한 특정 사회·경제적 특성들과 전기자동차에 대한 인식 및 태도 사이의 상관관계를 고찰하는 것이다. 표본집단 간의 인식 및 태도 차이를 분석하기 위하여 Greenwood and Nikulin(1996), Janes(2001)에서 사용한 카이스퀘어(chi-square) 검정 방법을 이용하였다.

분석 결과, 전기차에 대한 소비자들의 태도·지식·인식은 응답자의 성별, 나이, 교육 수준에 따라 다르다는 것을 보여 준다. 또한, 중요한 발견은 지속가능성과 환경적 편익이 전기자동차를 선택하게 하는 요인이기는 하지만, 전기차의 비용 및 성능 요인보다는 우선순위에 서 뒤진다는 것이다. 또한, 저자들은 전기차에 대해 제기되는 여러 가지 의구심에도 불구하고, 소비자들은 전기차에 대해 상당히 높은 관심

을 가지고 있다고 결론지었다.

본 연구에서 입증된 증거들은 전기차가 직면하고 있는 배터리 기술, 배터리 비용, 충전 인프라를 포함하는 장애 요인들을 해소해야만 한다는 점을 강조한다. 그러나 이러한 조건들이 충족된다고 하더라도 소비자의 ‘수용성’이 전기자동차의 상업적 성공(또는 실패)에 대한 핵심 열쇠라고 지적하였다. 만약 소비자들이 전기자동차 기술을 신뢰하지 못한다면, 전기차 구매에 대한 사실상의 보조금인 세액공제제도(tax credit)와 같은 인센티브가 전기자동차 시장을 확산하는데 거의 효과가 없을 수도 있다고 하였다. 따라서 전기자동차의 시장점유율을 제고할 수 있는 확실한 정책수단들이 시행되어야 함을 강조하였다. 이러한 정책수단들로 전기자동차에 대한 교육, 전기자동차 기술에 대한 투자 확대, 관련 인프라 확충, 배터리 스왑 프로그램 도입, 전기 배터리에 대한 확실한 보증, 세액 공제 증액 등을 제시하였다.

대중의 여론은 대중 매체와 사회적 네트워크를 통해 영향을 받기 때문에, 정책 결정자들은 에너지안보 증진, 생태발자국지수(ecological footprint)⁴²⁾ 등 전기자동차가 제공할 수 있는 비금전적 편익에 대해 국민들이 공감할 수 있도록 이러한 수단들을 활용할 필요가 있다고 제안하였다.

4) IEA(2011)

국제에너지기구(International Energy Agency: IEA)는 세계 에너지

42) 1996년 캐나다 경제학자들이 개발한 개념으로, 인간이 삶을 영위하는 데 필요한 자원의 생산 및 폐기에 드는 비용, 즉 인간이 소비하는 에너지, 식량, 주택, 도로 등을 만들기 위해 자원을 생산하고 폐기물을 처리하는 데 드는 비용을 토지면적으로 환산한 것이다. 그 면적이 넓을수록 환경문제가 심각함을 의미한다.

연소로부터 발생하는 CO₂ 배출을 2050년까지 현 수준의 50%를 감축하는 목표를 수립하고, 목표 달성에 필요한 주요 기술들에 대한 장기 로드맵을 개발하고 있다. IEA가 2011년 6월 발표한 ‘EV 및 PHEV(Electric and Plug-in Hybrid Vehicle) 로드맵’은 현재 수 천대 수준에 머물고 있는 전기자동차의 생산이 2050년에 1억만 대 이상으로 확대되는 시나리오를 상정하고, 그 효과를 분석하였다.

IEA(2011)는 향후 10년이 전기자동차 및 플러그인 하이브리드 자동차의 ‘성패’를 좌우하는 중요한 시기로 보고 있다. IEA는 전기자동차의 생산·보급 및 관련 인프라 확충을 체계적으로 추진하기 위해서는 각국 정부, 자동차 산업계, 전력사업자 및 관련 이해당사자들 간의 협력이 필수적임을 지적하였다. IEA 기술로드맵의 비전은 EV 및 PHEV를 광범위하게 보급하여, 이들 차량이 2050년 기준으로 전 세계 경량 자동차(Light Duty Vehicle: LDV) 생산의 50% 이상을 차지하는 것이다. IEA는 보고서를 통해 전기자동차 보급의 에너지 및 온실가스 감축효과를 분석하고, 비전 달성을 위한 전략적 목표를 설정하였으며, 목표 달성을 위한 실천사항들을 제시하였다.

전기차 보급 효과 분석을 위한 EV의 평균 주행거리는 150km(90마일), PHEV의 순수 전기주행 거리는 40km(25마일)로 가정하였고, 연비는 EV 및 PHEV 모두 0.2 kWh/km로 설정하였다. 전기자동차 가격의 핵심 요소인 배터리 비용은 EV용 배터리가 현재 kWh당 500~600달러에서 2020년에는 400달러로 하락하고, PHEV의 경우는 kWh당 750달러에서 2020년에 450달러로 하락할 것으로 예상하였다.

IEA는 EV 및 PHEV의 보급으로 2030년 한해에만 세계적으로 약 5억 톤의 CO₂를 감축할 수 있을 것으로 전망하였으며, 2050년에는 약

5억 대의 EV 보급(CO₂ 10억 톤 감축), 약 8억 대의 PHEV 보급(CO₂ 15억 톤 감축)으로 연간 25억 톤의 CO₂를 줄일 수 있을 것으로 보고 하였다.⁴³⁾

IEA는 이러한 의욕적인 비전을 달성하기 위한 몇 가지 실천 사항들을 제시하였다. 첫 번째는 전기동력 자동차(electric drive vehicle)의 판매 목표를 설정하는 것이다. 산업계와 정부에게는 2050년까지 전 세계 경량자동차(LDV) 판매시장에서 EV와 PHEV의 비율이 최소한 50%는 되도록 협력할 것을 주문하였다. IEA는 비전 달성을 위한 세계 EV 및 PHEV 판매대수가 2020년에 적어도 연 500만 대에 도달해야 목표 달성이 가능할 것으로 판단하고 있다. 두 번째는 전기자동차의 시장 도입을 지원하기 위한 체계적인 전략 개발이다. 내연기관(Internal Combustion Engine: ICE) 자동차 대비 전기자동차(EV, PHEV)가 비용 경쟁력을 갖도록 하고, 적절한 충전 인프라 확충이 중요하다고 보았다. 소비자의 욕구 및 자동차 운행 행태에 대한 산업계의 이해 증진과 자동차 특징을 감안한 일관된 성능지표 개발⁴⁴⁾도 중요한 요소임을 적시하였다.

세 번째는 에너지 저장기술에 대한 RD&D(Research, Development and Demonstration) 장려이다. 즉, 배터리 비용 절감을 위한 연구개발 및 실증사업이 필요하다는 것이다. 네 번째 실천사항은 충전 인프라 개발 및 확충이다. EV 및 PHEV 충전에 사용할 전기 공급의 안정성이 보장되어야 하며, 소비자들이 편리하게 충전소에 접근할 수 있어야

43) 연간 전기자동차 한 대당 2톤의 CO₂(‘Well-to-Wheel’ 기준, 생산에서 소비까지의 전 단계의 배출량을 의미)를 줄일 수 있을 것으로 보고 있다.

44) 자동차 성능(예, 주행거리), 기술적 특징(예, 배터리 요건), 에너지 사용, 배출량, 안전 기준 등에 대한 적절한 지표 개발을 의미한다.

한다. 이를 위해서는 특정 대수의 EV 및 PHEV가 일일 전기 수요, 발전량 및 발전용량에 미치는 영향을 파악해야 함을 지적하였다. 또한 ‘V2G’(vehicle-to-grid) 인터페이스 표준화는 필요하지만, 혁신이 발휘될 수 있도록 지나친 규제는 자제해야 한다고 권고하였다.

5) Zhang et al.(2011)

이 논문은 중국 난징(Nanjing) 지역을 대상으로 전기자동차에 대한 소비자의 인식(awareness)을 분석하고, 소비자가 전기차를 선택하는데 영향을 미치는 요인들이 무엇인지를 연구하였다. 난징에 위치한 여러 운전교습소의 수강생 299명을 대상으로 설문조사를 실시한 후, 세계의 이항 로지스틱(binary logistic) 회귀모형을 사용하여 소비자의 전기차에 대한 수용성(acceptance), 전기차 구매 시기, 구매 가격에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다.

주요 연구 결과는 다음의 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 소비자의 전기자동차 선택 여부는 가족 내 운전면허 소지자 수, 가족 내 보유 자동차 수, 정부 정책 및 연료가격 등에 의해 유의미한 영향을 받는다. 둘째, 전기차 구매 시기는 응답자의 학력 수준, 연간 소득, 가족 내 보유 자동차 수, 정부 정책, 동료들의 의견 및 세제 혜택에 의해 의미 있는 영향을 받는다. 마지막으로 전기차 구매가격에 대한 수용성은 연령, 학력 수준, 가족 구성원 수, 가족 내 자동차 수, 동료들의 의견, 유지·보수비용, 차량 안전성 등에 영향을 받는다.

저자들은 본 연구가 난징 지역에 대한 연구이므로, 연구 결과를 중국 전 지역에 공통적으로 적용하는 것은 유효하지 않을 수 있다고 밝히고 있다. 따라서 동 연구 방법을 다른 지역들에 적용하거나, 다른

소비자 그룹을 분석에 포함하도록 표본 집단을 확대하는 등 중국을 대상으로 한 보다 심층적인 연구가 지속되어야 함을 강조하였다.

6) CE Delft(2010)

CE Delft(2010)의 연구는 도로 교통의 전기화(electrification)가 EU의 전력 생산에 미치는 잠재적 영향을 분석하고, 전기자동차가 유럽 신재생에너지 발전시장의 성장을 이끌 수 있는 정책 옵션을 개발하는 것을 목적으로 하였다.⁴⁵⁾ 본 연구는 지리적으로는 EU 회원국을 대상으로 하였고, 온실가스 배출량에만 연구 초점을 두었으며, 2020년까지를 중점 분석 기간으로 하였다. 그러나 전기자동차 보급과 관련된 미래의 전력 수요 잠재성장률을 보여주기 위해, 전기자동차 보급 시나리오인 2030년까지를 분석 기간으로 하였다.

CE Delft는 EV 및 PHEV가 전력부문에 미치는 영향을 평가하기 위해서 2020년을 기준으로 3가지 시나리오를 개발했다. 3가지 시나리오 중 일부는 매우 야심찬 내용을 담고 있기는 하지만⁴⁶⁾, 향후 10년 동안 EV 및 PHEV 보급으로 인한 추가적인 에너지 수요는 현재의 전력 수요 대비 제한적으로 증가할 것이라고 주장하였다.

시나리오1은 EV 및 PHEV가 상대적으로 완만하게 보급되는 ‘중간 수준 보급 시나리오(moderate/medium uptake scenario)’이다. 2020년 기준 EV의 승용차 판매 점유율은 0.4%이며, 2020년에 EU 지역에 총 50만 대의 EV가 운행된다고 가정한다. 또한 PHEV의 경우는 2020년 기준 승용차 판매점유율은 1.3%, 총 보급은 150만 대에 이르는 시나

45) 그린피스 유럽지부가 전기자동차의 온실가스 감축 잠재력을 최대한 발휘할 수 있는 방안을 모색하기 위해 본 연구를 발주하였다.

46) EU 27개국에 최대 3,100만 대의 EV 및 PHEV 차량을 보급하는 안이다.

리오이다.

시나리오2는 ‘빠른 보급 시나리오(fast uptake scenario)’로, 향후 10년 내에 도로교통의 전기화가 성공적으로 진행되며, 특히 PHEV가 2020년까지 신차 판매에서 상당한 시장 점유율을 확보하는 안이다. 2020년까지 EV는 총 승용차 판매의 11%를 차지할 것이며, EU내에 약 500만 대의 EV가 운행된다는 것이다. 2020년 기준 PHEV의 승용차 판매 점유율은 24%에 달하고, 약 1,500만 대가 시장에 보급된다. 시나리오3은 ‘매우 빠른 EV 보급 시나리오(ultra-fast EV scenario)’이다. 즉, 향후 10년 내에 순수 전기자동차가 매우 빠른 속도로 보급된다는 것이다. EV가 2020년 총 승용차 판매에서 40%의 점유율을 확보하여, 약 2,500만 대가 운행된다고 가정한다. PHEV의 판매점유율은 2020년에 7%에 도달하여, 약 550만 대가 보급된다.

시나리오1, 2, 3의 2006년 대비 2020년의 전력 수요량은 각각 0.3%, 2.9%, 2.6% 증가하는 데 머물 것으로 분석되었다.⁴⁷⁾ 즉, 향후 10년 동안 EV 및 PHEV로 인한 추가적인 에너지 수요는 현재 수요 대비 제한적으로 증가한다는 결론이다. 물론 전력 수요는 전기차 기술의 성공 여부에 따라 2020년 이후 빠르게 늘어날 수도 있다. 또한 프랑스, 독일, 영국 등 3개국에 대한 사례 조사 결과, 전기자동차로 인한 추가 전력 수요는 기존 발전소로 충족할 수 있는 수준이라는 결론을 도출하였다. 추가 전력 수요를 충족시키기 위해 정확하게 어떤 종류의 에너지원으로 생산된 전기를 사용할 것인가는 특정 시점, 특정 순간을 기준으로 한 전력 발전원의 가용성, 가동 유연성 및 한계 비용에 따라 결정될 것이다. 야간과 같은 기저부하 시간에 배터리를 충전할 경우에

47) 2006년 EU 27개국의 전력소비량은 약 2,814MWh이다.

는 석탄 및 원자력이 추가 수요를 충족하게 될 가능성이 높다. 사례분석 대상 국가들의 경우는 피크시간 대에 가스화력 발전량을 늘려 전기차로 인한 추가 전력 수요를 충족시킬 가능성이 가장 높은 것으로 분석되었다.

7) Diamond(2009)

이 논문은 하이브리드 승용차(HEV) 보급을 장려하기 위해 만들어진 미국 정부의 인센티브 정책의 효과 분석을 목적으로 하였다. 소비자의 하이브리드 차 선택과 다양한 사회·경제 및 정책변수들 간의 상관관계를 검증하기 위해, 2001년부터 2006년까지의 미국 각 주의 하이브리드 차량 등록통계에 대한 횡단면-시계열(cross-sectional and time-series) 분석을 적용하였다. 분석 결과, 휘발유 가격과 하이브리드 차 선택 간에는 강한 상관관계가 존재하였으나, 하이브리드 차 보급 촉진을 위한 인센티브 정책과 하이브리드 선택 간의 상관관계는 훨씬 약한 것으로 나타났다.

연방 세액공제⁴⁸⁾ 외에도 많은 주에서 하이브리드 차에 대한 다양한 인센티브를 제공하고 있다. 2008년 기준으로 보면, 콜로라도 주가 차량 모델에 따라 2천 5백 달러에서 6천 달러까지 가장 높은 세액공제

48) 하이브리드차를 구매하는 소비자에게 제공하는 인센티브들은 동급 휘발유차보다 초기 구입비용이 높다는 시장장벽을 해소하기 위해 만들어졌다. 미국 연방 정부는 2005년까지 제조사와 모델에 상관없이 일정 자격을 갖춘 모든 하이브리드 차량에 대해 2천 달러의 소득공제(tax deduction) 혜택을 부여해 주었다. 소득공제제도는 에너지정책법(Energy Policy Act)에 따라서 2006년 1월부터 동급 휘발유 차량 대비 각 차량모델의 배기량과 연료효율에 근거한 세액공제(tax credit)제도로 강화되었다. 세액공제액은 주별로 수 백 달러에서 수 천 달러까지 다양하다. 동 제도는 총 6만 대의 하이브리드 및 린번(lean-burn; 희박연소) 자동차가 판매된 이후, 단계적으로 폐지되고 있다(Diamond, 2009).

를 해주었으며, 1천 5백 달러 이상의 인센티브를 제공하는 일부 주들이 존재한다. 반면 버지니아, 캘리포니아, 뉴욕, 뉴저지, 플로리다, 유타 등은 주 내 한 개 이상의 고속도로에서 하이브리드 운전자에게 다 인승 전용차로 제한을 면제해 주고 있다.

그러나 회귀분석 결과는 소비자들이 하이브리드차를 선택하는 데 있어서 금전적 인센티브가 통계적으로 유의미한 영향을 갖고 있지 못하다는 것을 보여주고 있다. 즉, 이러한 인센티브 제도가 실제로 하이브리드 차량의 보급을 촉진하는데 기여했는지는 확실치 않다는 것이다. 그럼에도 불구하고 이 연구는 몇 가지 중요한 사항을 발견했다는 점에서 의미가 있다. 첫째, 휘발유 가격이 하이브리드 차량 구매에 미치는 효과가 매우 크다는 것을 증명하였다. 즉, 연료비용 상승 시, 소비자들은 자동차의 연비를 매우 중요시한다는 것이다. 두 번째, 판매세 또는 소비세 면제 형태의 인센티브가 리베이트(rebate) 또는 세액 공제보다 효과가 컸다. 이는 판매세 또는 소비세 면제는 초기 차량 구매비용을 줄여주는 효과가 있다는 점에서, 어떻게 보면 당연한 결과라 할 수 있다.

세 번째, 연구자는 금전적 인센티브와 하이브리드 차의 시장 점유율 간에 상관관계가 약하다는 것 역시 중요한 정책적 시사점을 줄 수 있다고 주장한다. 상관관계가 낮다는 것은 자동차 대리점이 주 정부의 인센티브를 자신들의 차량 가격결정 구조에 반영하여, 소비자에게 더 높은 가격을 부과하기 때문일 수 있다는 것이다. 만약 이것이 사실이라면, 금전적 인센티브가 하이브리드 차량 보급보다는 자동차 대리점에게 보조금을 지급하는 수단이 되었다는 것을 의미한다. 넷째, 소득 변수와 하이브리드 차 선택 간의 양(+)의 상관관계는 재정적 인센티

브가 하이브리드차를 구입할 가능성이 더 높은 고소득층 소비자들에게 불균형적인 혜택이 될 수 있음을 시사한다. 즉, 금전적 인센티브는 고소득계층 소비자들에게 보조금을 제공하는 결과를 초래할 수 있다는 것이다. 다시 말하면, 고 소득계층은 인센티브가 없어도 어차피 하이브리드 차를 구매하려는 결정을 할 가능성이 높고, 저소득층은 인센티브 제공에도 불구하고 차량 구매 가능성이 높아지지 않을 수 있다는 설명이다.

이 연구는 하이브리드 승용차 선택의 결정요인과 정부의 인센티브 제도의 효과에 대한 흥미로운 분석 결과를 제시하는 한편, 이 주제에 대한 추가 연구의 필요성을 강조한다. 소비자들이 정부 인센티브에 어떻게 반응하고, 친환경 자동차 중에서 특정 유형의 차량을 선택하게 하는 요인이 무엇인지에 대한 연구는 하이브리드 승용차 외 친환경 자동차(플러그인 하이브리드차, 클린디젤차, 전기차, 연료전지차 등)의 시장 도입을 촉진하는 데 매우 중요하다는 것이다.

나. 국내 연구

1) 최도영 · 이상열(2011)

이 연구는 친환경차 개발 및 보급이라는 전 세계적인 흐름 속에서, 우리나라의 주요 그린카 보급 정책 수단에 대한 효과를 평가하는 데 목적을 두었다.

우리나라는 2015년까지 그린카 120만 대 생산을 통한 ‘글로벌 그린카 기술 4대 강국 달성’을 목표로 하는 국가의 그린카 발전 로드맵을 2010년 말 발표한 바 있다. 이 목표를 달성하기 위해서는 기술개발

투자뿐만 아니라 초기 시장 창출을 위한 효과적인 지원정책⁴⁹⁾이 뒤따라야 한다. 본 연구는 이러한 연구 필요성 하에서 주요 그린카 보급정책 수단인 차량 구입 시의 세제 지원, 연비 개선, 충전 인프라 확충 등을 주요 평가 대상으로 삼았다. 하이브리드 승용차, 순수 전기자동차 등에 부여되는 세제 지원 규모의 적정성을 분석하였으며, 정책 효과 측면에서 주요 정책수단들의 우선순위를 평가하였다.

본 연구는 구조화된 설문 조사표를 이용하는 컨조인트법(Conjoint Method)과 소비자의 간접효용함수(Indirect Utility Function) 추정을 위한 확률효용모형(Random Utility Model)을 사용하여 소비자들이 친환경·고효율 자동차의 속성(연비, 차량가격, 연료종류, 온실가스 배출량 등)에 부여하는 화폐 가치를 추정하였다. 분석 결과, 자동차 연료에 대한 소비자들의 추가 지불의사액(Willingness to Pay: WTP)은 경유가 374만 원, 플러그인 하이브리드는 533만 원, 전기는 507만 원으로 나타났다. 이는 소비자들이 다른 조건이 동일하다면, 휘발유에 비해서 경유, 플러그인 하이브리드(전기+휘발유) 및 전기를 에너지로 사용하는 승용차를 선호한다는 것을 뜻한다.

또한, 소비자들은 연비가 높은 자동차를 선호하여, 자동차의 연비가 1km/ℓ 높아지면 이에 대한 대가로 78만 원 정도 차량가격을 더 지불할 의사가 있는 것으로 나타났다. 반면, 예상대로 자동차 속성 중에서 연료 주유(충전) 시간이 길어질수록, 탄소 배출량이 늘어날수록, 연간 자동차세가 높아질수록 자동차에 대한 선호는 낮아지는 결과를 보였다.⁵⁰⁾

49) 정부는 2009년부터 하이브리드차 구매에 대해 최대 310만 원의 세제혜택을 부여하고 있으며, 전기자동차를 구입하는 공공기관에 대해서는 최대 2,000만 원의 보조금을 지급해왔다. 2012년부터는 전기차를 구매하는 민간 소비자에게도 최대 420만 원의 세제혜택을 지원한다.

이 연구는 자동차 속성별 지불의사액 추정 결과를 이용하여 기준 휘발유 차량 모델(소나타2.0) 대비 친환경·고효율 자동차의 대표 모델에 대한 소비자의 화폐적 가치를 추정하였다. 또한, 친환경·고효율 자동차 모델별로 소비자들의 지불가능 가격⁵¹⁾과 실제 차량가격을 비교하여 세제 지원 정책의 적정성을 평가하였다. 하이브리드차의 경우 지불가능 가격과 실제 차량가격의 차이는 ‘제로’(-37만 원)에 가까운 것으로 추정되어, 하이브리드차에 부여하는 세제지원 금액은 적절한 수준인 것으로 결론지었다.

‘닛산 리프’의 경우, 최대 세제지원액(420만 원)을 포함한 소비자의 지불가능 가격을 6,056만 원으로 추정하여, 예상 차량가격(6,000만 원)과 비슷한 수준으로 평가하였다. 즉, 소비자의 추가 지불의사액을 감안하면 전기차 ‘리프’를 보급하는 데 있어서 정부의 세제지원이 낮은 수준은 아니라는 주장이다. 그러나 이는 완속 충전 인프라의 완비로 배터리 충전에 장애가 없다는 상황을 전제하였다. 이를 뒤집어 말하면, 충전 인프라 문제가 해결되지 않는다면, 순수 전기차에 대한 정부의 세제지원 정책은 효과가 없다는 것을 뜻한다.

이 연구는 주요 정책수단의 우선순위도 평가하였는데, ‘연비 향상’과 ‘충전시간 단축’을 전기자동차 보급에 효과적인 정책 수단으로 결론지었다. 본 연구는 그린카 보급이 본격화되는 시점에서, 우리나라에서는 처음으로 정부가 규정한 모든 ‘그린카’ 종류를 분석 대상으로 삼아, 정책수단 평가를 시도하였다는 점에서 선도적이라 할 수 있다.

50) 예를 들면, 연료 주유(충전)시간이 1분 늘어나는 데 대한 지불의사액은 -16만 원으로 추정되었다. 즉, 연료 주입(충전)시간이 1분 길어질 경우 차량 가격이 16만 원 하락해야만 소비자들의 효용 수준이 동일하게 유지된다.

51) 지불가능가격 = 기준차량 가격 + 추가 지불의사액 + 세제지원액

2) 전력거래소(2009)

전력거래소(2009)는 정부의 전기자동차 보급 계획에 따라 전기자동차가 장기적으로 전력수급에 미치는 영향에 대해 분석하고 시사점을 도출하였다. 결론적으로 전기자동차는 연료효율 및 환경성이 우수하여⁵²⁾, 미래 보급 잠재력이 크다고 보았다. 그러나 이 연구는 전기자동차 보급에도 불구하고 전력소비량은 약 0.03~0.8%, 최대 전력수요는 약 0.05~1.3% 증가하는데 그쳐, 전기자동차 보급이 발전소 추가 건설 등 전력수급계획에 영향을 줄 정도는 아니라고 주장하였다.

전기자동차 보급의 영향을 분석하기 위하여 전기자동차의 대당 연간 전력소비량은 2.3MWh, 일평균 주행거리는 40km로 가정하였다. 또한 3시간 만에 충전 가능한 용량 8.6KWh인 배터리를 사용하며, 전기자동차들의 동시 충전비율은 30%로 가정하였다.

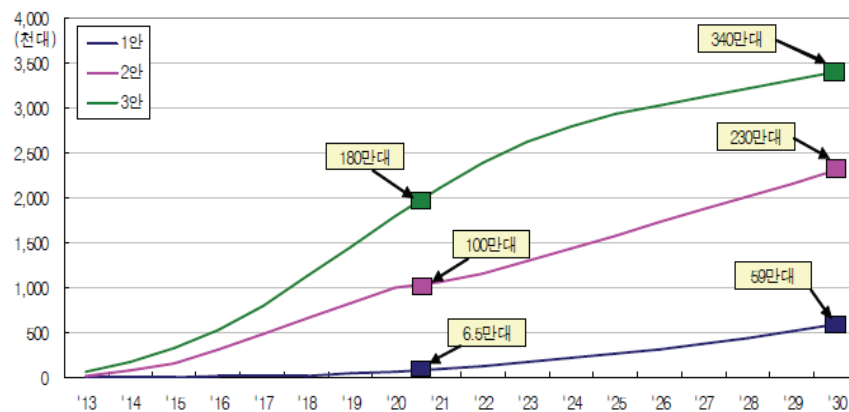
세 가지 시나리오를 설정하여 분석을 수행하였는데, 시나리오1은 2020년 국내 소형차의 10%를 전기자동차로 보급하여 전기자동차 보급대수가 6.5만 대에 이르는 상황을 가정하였다. 분석 결과, 전력 수요량은 150GWh, 최대전력은 41MW 증가할 것으로 전망되었다.⁵³⁾ 시나리오2는 정부의 ‘전기자동차산업 활성화 방안’에 따라 2020년 기준으로 100만 대의 전기자동차가 보급되는 안이다. 이때의 전력수요량은 2,300GWh, 최대전력은 630MW 증가할 것으로 분석되었다. 시나리오3은 2020년 기준 180만 대의 전기자동차가 보급되는 것을 가정

52) 내연기관 자동차 대비 전기자동차의 연료효율은 약 7.3%p 우수하고, 동일주행 거리 대비 40% 이상의 CO₂ 배출 감축이 가능하다고 하였다.

53) 전기자동차 전력소비량(GWh) = 운행 전기자동차 대수 × 2.3MWh ÷ 1,000
피크기여부하(MW) = [2.3MWh/yr ÷ 365일 ÷ 3(예상 충전시간)] × 운행 전기자동차 대수 × 동시 충전비율(최대 30%로 가정)

하였고, 전력수요는 4,147GWh, 최대전력은 1,136MW 증가한다고 추정하였다. 전력거래소는 전력수급의 안정성에 문제가 발생할 수 있는 ‘Worst Case’도 설정하였는데, 이 경우 전력수요량은 1.2%, 최대전력은 5.2%까지 증가할 수 있는 것으로 보았다. ‘Worst Case’에서는 대당 전력소비량을 연간 3.2MWh, 충전시간은 1시간, 동시충전 비율을 30%로 가정하였다. 전력거래소는 ‘Worst Case’에 대비하여, 충전 부하를 피크시간이 아닌 시간대로 유도하는 정책이 요구되며, 전기자동차 시장에 대한 지속적인 모니터링이 필요함을 지적하였다. 또한, 최대 부하를 낮추기 위해서는 ‘V2G’(Vehicle-to-Grid)에 대한 기술 축적이 필요하다고 주장하였다.

[그림 4-1] 시나리오별 전기자동차 보급 전망



자료: 전력거래소(2009)

전력거래소(2009)의 결론은 전기자동차 보급이 활성화되더라도 기존의 전력수급계획 범위 내에서 전기자동차의 신규 전력수요를 수용할 수 있다는 것이다. 즉, ‘제4차 전력수급계획’에 따른 발전소, 송전

설비 건설 범위 내에서 전기자동차가 유발하는 추가 수요는 수용 가능하다는 의미이다. 그러나 최근의 전력 수요는 분석 당시인 2009년 이후 산업용 및 난방용 수요를 중심으로 급증하여 ‘제4차 전력수급계획’ 뿐만 아니라 ‘제5차 전력수급계획(2010.12)’의 전력수요 예측 범위를 크게 상회하고 있다. 그 결과로 현재의 전력수급 상황은 매년 동·하계 최대 부하시 예비전력 확보에 사활을 걸어야 하는, 완전히 다른 환경으로 급변하였다. 따라서 현 시점에서 전기자동차 보급이 전력수급에 미치는 영향을 재평가해 볼 필요가 있다.

2. 분석 방법 및 주요 가정

가. 분석 방법

1) 개요

전기자동차 보급이 총 에너지수요 및 온실가스 배출에 미치는 영향을 살펴보기 위해서는 국가 전체의 에너지수급밸런스 통계를 기반으로 에너지수급을 전망할 수 있는 장기전망 모형의 운용이 필요하다. 왜냐하면 전기차 보급의 영향을 단순히 수송부문의 수급구조 변화에만 한정할 수 없기 때문이다. 수송부문에서는 전기차 보급이 확대되면 화석연료(휘발유 등) 수요는 줄고, 이를 대신하여 전력 수요가 증가할 것이다. 그리고 ‘Tank to Wheel’ 기준으로 전기자동차의 연료 효율이 훨씬 높기 때문에 수송부문의 총 에너지소비량은 줄어들 것이다.

그러나 전기자동차(PHEV, EV)용 전력을 생산하기 위해서 우리나라 발전부문에 사용되는 1차에너지의 60% 이상이 손실되는 점을 고려하면, 발전원이 어떻게 구성되느냐에 따라 온실가스 배출에 대한

영향이 크게 달라질 수 있다. 만약, 우리나라의 발전 에너지원의 대부분을 석탄에 의존하고 있다고 가정하면, 전기차 보급으로 총에너지 수요는 줄일 수 있을지 모르나, 온실가스 배출은 오히려 늘어날 수도 있다. 따라서 의미 있는 연구결과 도출을 위해서는 국가 에너지수급 흐름을 정확히 반영하고 있는, 신뢰성 있는 전망시스템이 필요하다.

본 연구에서는 에너지지경제연구원⁵⁴⁾에서 운용하고 있는 장기 에너지 및 온실가스 전망시스템(KEEI-EGMS; KEEI Energy and Greenhouse Gas Modeling System)을 이용한다. 이 시스템은 에너지수급밸런스 통계를 기반으로 20년 이상의 장기 에너지 수요 및 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 전망하기 위해 개발된 모형으로, 본 연구에 활용하기에 적합한 시스템이다. 다만 제3장에서도 언급했듯이 본 연구에서는 목적에 맞도록 KEEI-EGMS의 수송부문 모형을 보다 세분화된 구조로 확장하였다. 보다 자세히 설명하면, 기존 시스템에서는 승용차 종류를 기술·연료별(휘발유, 경유, LPG, 하이브리드(휘발유, LPG), LNG, CNG, 기타)로 구분하였으나, 본 연구에서는 승용차 분류를 기술·연료·차급별로 세분화하였다. 세분화 모형의 장점은 전기자동차(HEV, PHEV, EV)가 시장에 침투하는 모습과 그 영향을 배기량별 분류 구조를 기반으로 살펴볼 수 있다는 것이다.⁵⁴⁾

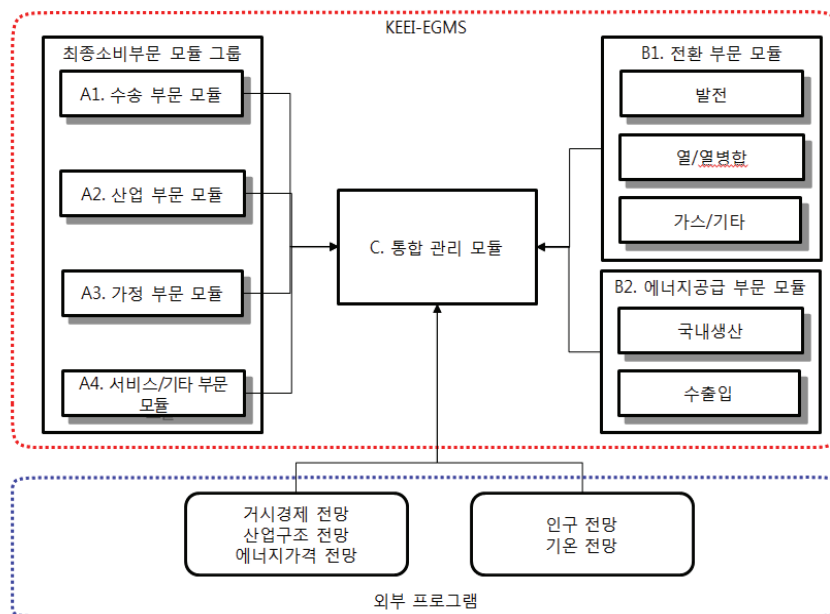
본 장에서는 제3장에서 도출된 3개 시나리오별(기준안, 보급시나리오 I, 보급시나리오 II) 승용차 등록대수 전망(기술·연료·차급별)과 확장된 KEEI-EGMS를 이용하여 3개의 시스템 운용 결과를 산출하고, 전기자동차 보급의 영향을 비교·분석하고자 한다.

54) 전기자동차가 처음에는 경·소형 내연기관 차량을 대체할 가능성이 높지만, 향후 배터리 기술발전으로 다양한 용량, 다양한 모델의 전기자동차가 개발되면, 모든 차급의 시장에서 수요가 발생할 수 있다.

2) KEEI-EGMS 개요

여기서는 KEEI-EGM 시스템에 대해 간략히 소개하기로 한다.⁵⁵⁾ 이 시스템은 수송, 산업, 가정, 상업·공공·기타 등 네 개의 최종에너지 소비부문 모듈과 전환부문 모듈, 에너지공급 부문 모듈 그리고 전체 시스템을 관리하는 통합관리 모듈로 구성되어 있다.

[그림 4-2] KEEI-EGMS 개략도



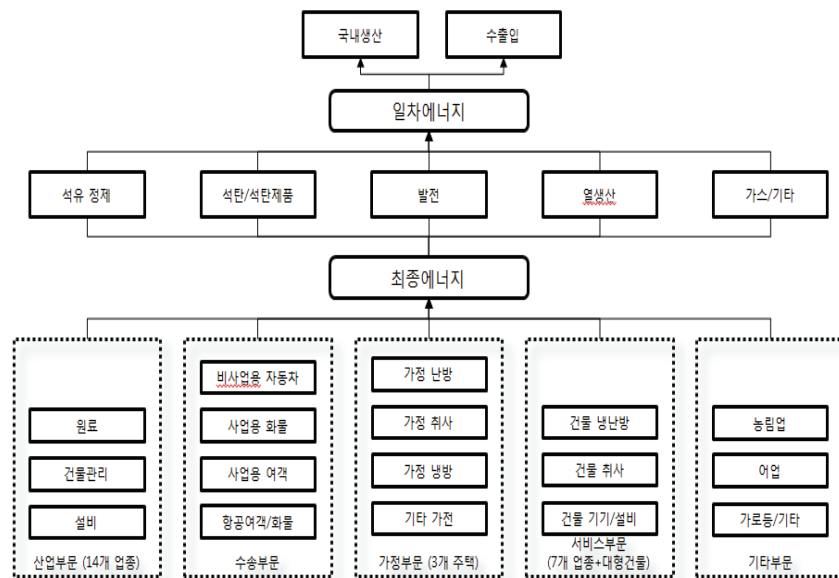
자료: 장기 에너지 및 온실가스 전망시스템 설명서(KEEI 내부자료, 2012)

수송부문 모듈은 사업용 및 비사업용으로 등록된 모든 수송 수단의 에너지 수요를 전망한다. 단, 군용 및 레크레이션 차량, 특수 차량 등

55) 자세한 내용은 에너지경제연구원(2011) 참조

일부 차량은 분석에서 제외한다. 산업부문 모듈은 한국표준산업분류상의 농림어업, 광업, 제조업, 건설업에서 사용하는 에너지수요를 전망한다. 단, 사업체 본사 건물 등 업무용 건물의 에너지수요는 상업부문에 포함되어 전망된다. 가정부문 모듈은 단독 및 공동 거주 형태의 주택에서 소비하는 에너지수요를 전망하도록 되어 있다. 상업·공공·기타부문 모듈은 서비스업에 해당하는 업종 및 업무용 대형 건물 등에서 사용하는 상업용 에너지수요와 공공 서비스용 에너지수요 그리고 수송, 산업, 가정, 상업부문에 포함되지 않는 기타 에너지수요를 전망한다.

[그림 4-3] KEEI-EGMS 구조



자료: 장기 에너지 및 온실가스 전망 시스템 설명서(KEEI 내부자료, 2012)

전환부문 모듈은 최종소비부문에서 전망한 전력, 열에너지, 도시가스 수요를 공급하기 위해 동 에너지의 생산에 투입된 연료를 전망한다. 에너지공급부문 모듈은 최종소비부문 모듈과 전환부문 모듈의 전망결과를 정리하여 1차에너지 수요 및 최종에너지 수요를 산출하고 총에너지 수요에 부합하는 에너지 수·출입 및 국내 생산을 전망하는 모형이다.

최종소비부문의 에너지수요는 기본적으로 활동 수준(Activity level)에 따라 결정되는 에너지서비스 요구량과 에너지서비스 단위당 에너지 소비 그리고 에너지 상대 효율에 따라 결정되며, 부문 및 세부 용도에 따라 다양한 방법을 적용하고 있다.⁵⁶⁾ 에너지서비스 요구량은 직접 관찰하기 어렵기 때문에 서비스 요구량을 관련 활동 수준의 함수라는 가정 하에 활동 수준을 대리 변수로 사용한다. 활동 수준은 부가가치, 자동차 등록대수, 건물면적, 주요 제품 생산량(기초유분, 선철, 클링커) 등이 대표적이다.

단위에너지 소비는 활동(Activity)에 따라 적합한 단위를 설정하며, 에너지서비스 요구량과 단위에너지 소비를 곱하여 에너지 요구량을 계산하게 된다. 에너지 요구량은 에너지의 상대 효율 및 상대 가격, 그리고 기술, 정책, 환경 등의 변화로 인한 에너지 대체 정도를 나타내는 에너지 효율 지수를 이용하여 원별 에너지수요로 환산한다.

이하에서는 본 연구에 직접 활용되는 수송부문의 비사업용 자동차 및 사업용 승용차 모듈과 전환부문 모듈을 개략적으로 설명한다. 수송부문 모듈은 비사업용 자동차, 사업용 승용차, 사업용 화물, 항공, 기

56) KEEI-EGMS의 최종 소비부문의 용도별 에너지수요 기본 전망방정식의 형태는 아래와 같다.

$$\text{최종에너지 수요} = \text{에너지서비스 요구량} \times \text{단위에너지소비} \times \text{에너지효율지수}$$

타, 온실가스 배출 모듈 등 여섯 개의 기본 연산 모듈로 구성되어 있으며, 기술 발전이나 경제 상황, 수송 구조, 소비자 선택, 정책 변화에 따른 수송부문 에너지수요의 변화를 예측한다.

비사업용 자동차 모듈은 비사업용으로 등록된 승용차, 승합차, 화물 자동차의 보급대수, 연비, 주행거리 변화를 분석·전망하여 비사업용 자동차의 에너지수요를 예측한다. 비사업용 자동차 모듈은 자가용 보급, 소비자 선택, 주행거리, 연료 수요 등의 하부 모듈로 구성되어 있다. 각 하부 모듈은 다양한 외부 입력 자료와 선행 하부 모듈의 결과를 사용하여 수송 수단의 성질, 입력 자료의 세분화 정도, 출력 자료의 필요 수준에 따라 연산 및 추정을 수행한다. 사업용 승용차 모듈도 비사업용 자동차 모듈과 유사한 구조로 설계되어 있다.

전환부문 모듈은 최종소비부문에서 전망된 전력, 열에너지, 도시가스 수요를 공급하기 위해 해당 에너지를 생산하는데 필요한 연료수요를 전망하는 부문이다.⁵⁷⁾ 전환부문 모듈은 다시 네트워크에너지 모듈, 발전 모듈, 열·열병합발전 모듈, 가스·기타 모듈, 온실가스배출 모듈로 세분된다. 발전 모듈은 발전 전용 설비의 에너지 전환 투입·산출을 전망하며, 열·열병합발전 모듈은 열전용 생산 설비와 열병합발전 설비의 투입·산출을 전망한다. 가스·기타 모듈은 최종 소비부문 및 타 전환 부문에서 소비되는 도시가스 제조를 위한 투입·산출과 바이오디젤 및 기타 석유제품의 생산에 투입되는 연료를 계산한다. 요약하면, 전환부문 모듈은 에너지수급 흐름의 역순으로 최종부문의 네트워크 에너지 수요를 충족하는 순 생산(공급)량을 우선 결정하며, 이를 생산하기 위해 필요한 연료 구성과 연료 투입량을 계산한다.

57) 상세한 내용은 에너지경제연구원(2010) 참조

특히, 전환부문의 핵심 구성 요소인 발전 모듈은 연료 구성 및 투입량을 계산하기 위해 설비 구성을 결정하는데, 발전 모듈은 균형 조건을 만족하는 적정 설비 계획과 설비별 전력 생산 및 연료 투입을 계산하게 된다. 조건부 균형 모형은 발전 모듈의 균형 조건을 만족하는 균형 해를 찾기 위해 조건부 설비계획법을 반복적으로 수행하는 알고리즘을 말한다.

3) 승용차부문 에너지수요 전망 방법⁵⁸⁾

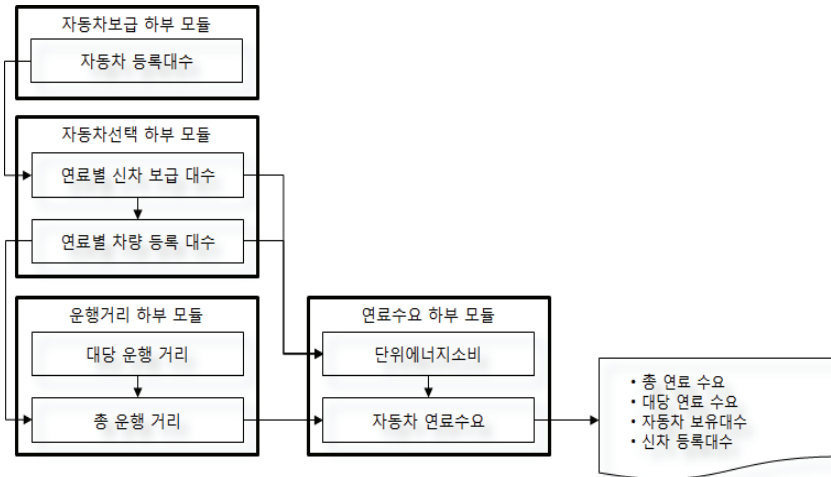
가) 개요

본 연구에 사용된 승용차부문의 에너지수요 전망방법을 보다 자세히 설명한다. 승용차는 비사업용 승용차 모듈과 사업용 승용차 모듈로 구성되어 있다. 제3장에서 소개한대로 두 모듈은 자동차 등록대수를 전망하는 방법에서만 차이가 있을 뿐 이후의 에너지 수요 전망방법 및 과정은 동일하다. 따라서 비사업용 승용차 모듈을 중심으로 에너지수요 전망방법을 설명한다.

이 모듈은 [그림 4-4]와 같이 자동차 보급, 자동차 선택, 운행거리, 연료수요 등의 하부 모듈로 구성되어 있으며, 각 하부 모듈은 사용자 선택 및 외부 입력 자료, 선행 모듈의 결과 등을 사용하여 연산 및 추정을 수행한다.

58) KEEI-EGMS 수송부문 매뉴얼을 기반으로 하되, 본 연구의 모형구조에 맞게 설명을 보완하였다.

[그림 4-4] 비사업용 자동차 모듈의 연산 흐름



자료: 장기 에너지 및 온실가스 전망시스템 설명서(KEEI 내부자료, 2012)

비사업용 자동차의 연료 수요를 전망하는 과정을 요소별로 분해하면 다음과 같다.

$$\text{승용차 연료 수요} = \text{차량등록대수} \times \text{대당 운행거리} \times \text{단위에너지소비}$$

차량 등록대수는 사용 연료별, 차급별 자동차 등록대수의 전망치이다. 기존의 비사업용 자동차 모듈에서는 자료의 한계 및 모형의 복잡성으로 인해 사용 연료에 따른 차량 구분만 하였으나, 본 연구를 위해 연료별 차량을 다시 경형, 소형, 중형, 대형 등 배기량 기준으로 세분하였다. 또한 기존 모형에서는 기술 구분을 전통적인 내연기관과 하이브리드로만 구분하고 있으나, 본 연구에서는 목적에 맞게 하이브리드 자동차외 다른 전기 동력 자동차인 플러그인 하이브리드차와 전기차를 반영하였다.

KEEI-EGMS 시스템 수송부문 모듈은 비사업용 자동차 등록대수를 추정하는 다양한 방법을 제공하고 있으며, 연료별 차량 보유 대수도 연료 가격의 변화에 따라 반응하도록 구성되어 있다. 한편, 기타연료(알코올, 등유, 태양광 등)를 사용하는 차량의 보급은 시나리오를 통하여 계산한다. 연료·차급별 비사업용 승용차 등록대수를 전망하는 방법과 그 결과는 제3장에 자세히 설명되어 있다.

대당 운행거리는 차량 그룹별 연평균 주행거리를 나타내며 ‘km/vehicle/year’로 표시된다. 대당 운행거리는 소득 수준, 연료 가격, 연료 효율, 대중교통의 보급 정도 등의 영향을 받지만, 비사업용 자동차 모듈은 소득과 연료 가격을 이용하여 대당 운행거리를 추정한다. 비사업용 자동차의 수송 수요인 총 운행거리(vehicle-km)는 차량 등록대수와 대당 운행거리의 곱으로 계산된다.

수송부문의 에너지원단위인 단위에너지 소비(Unit Energy Consumption)는 연료 소비 당 이동 거리를 의미하며, 연비와 동일한 개념이다. 단위에너지 소비에 영향을 미치는 요인은 자동차의 기술 수준, 차량 연식, 사용 연료, 운전자의 운전습관, 도로 상태 및 교통 상황 등 다양하지만, 자료 제약과 모형화의 어려움으로 인해 기술과 연료 가격만을 반영한 연비개선식을 사용하여 단순화하였다.

나) 운행거리 하부모듈

운행거리 하부 모듈은 비사업용 승용차의 사용 연료별 대당 운행거리와 총 운행 거리를 전망하여 연료수요 하부 모듈로 결과를 전송한다. 다음 설명처럼 대당 운행 거리는 사용 연료별로 전망하며 총 운행거리는 자동차 형태와 사용 연료에 따라 계산한다.

(1) 대당 운행 거리(km/vehicle/year)

비사업용 자동차 연료별 대당 운행 거리(AVG VKT) 추정은 대당 운행 거리의 일인당 소득과 연료 가격에 대한 탄성치를 이용하여 다음과 같이 추정한다.

$$AVGVKT_i = AVGVKTBY_i \times PRAT_i^\alpha \times PCGDP^\beta \quad (4-1)$$

(2) 총 운행 거리(vehicle-km)

총 운행 거리는 대당 운행 거리와 비사업용 자동차의 연료별, 차급별 보급 대수의 곱으로 계산된다.

$$TOTVKT_{i,j} = AVGVKT_i \times VHCFLT_{i,j} \quad (4-2)$$

TOTVKT: 비사업용 자동차 사용 연료별·차급별 총 운행거리

다) 연료수요 하부 모듈

비사업용 자동차 모듈의 연료수요 하부 모듈은 비사업용 자동차의 그룹별(기술·연료·차급별) 단위에너지 소비를 추정하고 운행 거리 하부 모듈에서 추정한 자동차 그룹별 운행 거리를 이용하여 비사업용 자동차의 그룹별 연료 수요와 총 연료 수요를 전망한다.

(1) 단위에너지 소비

비사업용 자동차의 단위에너지 소비는 연료 소비(liter) 당 거리(km)로 정의되며, 신규 등록 자동차와 기존 자동차 단위에너지 소비의 가

중 평균으로 계산한다. 전망 기간 중 신규 등록 자동차의 단위에너지 소비는 아래와 같은 단위에너지소비 개선식을 사용하여 추정한다.

$$FENVHC = FENVHC_{-1} + \left(\frac{PRAT^{\delta}}{IPR + PRAT^{\delta}} \right) \times FEVHCBAT \quad (4-3)$$

FENVHC: 신규 등록 자동차 그룹별 연비(l/100km)

IPR: Initial penetration rate = $1/(1+IPR)$ 가격의 변화가 없을 경우
자연적으로 발생하는 기본 효율 개선 속도

FEVHCBAT: 신규 등록자동차의 최고 연비(Fuel efficiency of the
best available technology)

전망 시점의 평균 단위에너지 소비는 기존 자동차 단위에너지 소비와 신규 자동차 단위에너지 소비의 가중 평균이며, 계산식은 다음과 같이 표현된다. 기존 자동차의 단위에너지 소비는 연비 하락 지수를 사용하여 차량 노후화로 인한 연비 하락을 반영한다.

$$FEVHC = \frac{(NNVFLT \cdot FENVHC + FEDFC \cdot (VHCFLT - NNVFLT) \cdot FEVHC_{-1})}{VHCFLT} \quad (4-4)$$

FEVHC: 자동차 그룹별 연비(l/100km)

FEDFC: 자동차 그룹별 연비 하락 지수

(2) 에너지 수요

비사업용 자동차의 사용 연료별 연료 수요는 총 운행거리를 단위 에너지 소비로 나누어 계산한다.

$$EVHCFLT_{i,j} = \frac{TOTVKT_{i,j}}{FEVHC_{i,j}} \quad (4-5)$$

EVHCFLT: 비사업용 자동차 사용 연료별 연료 수요

비사업용 자동차의 총 연료 수요는 자동차 형태(기술) 및 사용 연료 · 차급별 에너지 수요의 합이다.

$$TEDVHC = \sum_{i,j=1}^{n,m} EVHCFLT_{i,j} \quad (4-6)$$

TEDVHC: 비사업용 자동차 연료 수요

나. 주요 가정

승용차 부문의 연료 수요 전망을 위해서는 전술하였듯이 자동차 형태(기술) · 사용연료 · 차급별 등록대수, 대당 운행거리, 단위 에너지소비에 대한 전망치가 필요하다.

승용차 연료수요 = 차량등록대수 × 대당 운행거리 × 단위에너지소비

승용차 기술별, 연료별, 차급별 차량 등록대수는 제3장에서 시나리

오별로 상세히 도출 과정을 설명하고 결과를 제시하였다. 여기서는 선행연구 중 유일하게 우리나라의 전기자동차 등록대수를 전망한 Solar&Energy(2011)와 본 연구의 결과를 비교·제시하였다.

〈표 4-1〉 우리나라 기술별 전기자동차 판매 전망 비교

(단위: 천 대)

구분		2010	2015	2020	2025	2030	2035
Solar & Energy	HEV	11	182	492	-	-	-
	PHEV	0	8	74	-	-	-
	EV	0	4	49	-	-	-
	합계	11	194	615	-	-	-
KEEI 보급안 I	HEV	18	232	660	1,234	1,900	2,617
	PHEV	0	62	261	534	864	1,227
	EV	0	49	201	409	661	937
	합계	18	343	1,122	2,176	3,425	4,781
KEEI 보급안 II	HEV	18	213	582	1,068	1,630	2,231
	PHEV	0	117	491	1,005	1,627	2,310
	EV	0	125	523	1,068	1,728	2,453
	합계	18	455	1,596	3,140	4,985	6,994

자료: Solar&Energy(2011) 및 본 연구 결과

‘Solar&Energy’ 2020년까지만 전망치를 제시하고 있는데, 2020년의 전기자동차 총 등록대수를 61만 5천 대 수준으로 보고 있다. 반면, 본 연구의 친환경차 보급시나리오 I 과 II 는 2020년의 전기자동차 등록대수를 각각 110만 대, 160만 대 정도로 전망하였다. 이러한 전망치의 차이는 다양한 요인으로부터 발생할 수 있지만, 우선 2010년 등록대수

실적치의 차이에도 원인이 있는 것으로 판단된다. 따라서 2010~2020년 사이의 전기자동차 보급 증가 속도를 비교해보면, ‘Solar&Energy’의 전망이 연평균 49.7%, 본 연구의 보급 시나리오 I 은 연평균 51.0%로 거의 같은 증가율을 보이고 있다. 보급 시나리오 II의 경우에는 정부의 정책지원 수준과 기술개발의 차이로 보급 속도(연평균 56.5%)가 더 빠르게 나타난다.

자동차 등록대수 외, 또 다른 연료수요 결정 요인인 대당 운행거리와 단위 에너지소비(연비)에 대한 전망치를 본 절의 ‘가’항에서 설명한 방법으로 도출하게 되면, 승용차부문의 에너지 수요를 예측할 수 있다. 또한, 시나리오별로 에너지원별 수요 변화도 살펴볼 수 있다. 수송부문의 에너지 수요가 결정되면 KEEI-EGMS의 전환부문 모듈과 통합관리 모듈을 거쳐 총에너지(1차에너지) 수요와 에너지 연소로부터 발생하는 온실가스 배출량을 전망할 수 있다.

본 연구에서는 승용차 대당 운행거리를 전망하기 위해 교통안전공단에서 매년 발표하는 ‘자동차 주행거리 실태조사’의 연료별 대당 운행거리 시계열 자료를 활용하였다. 교통안전공단 주행거리 통계의 연료 구분은 휘발유 승용차, 경유 승용차, LPG 승용차, 기타 승용차로 되어 있으며, 하이브리드 승용차, 플러그인 하이브리드 승용차, 순수 전기자동차의 주행거리에 대한 실적 자료는 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 이들 전기자동차의 주행거리를 휘발유 승용차의 그것과 동일하다고 가정하였다. 전기자동차가 기존 내연기관 차량을 대체한다고 하면, 주행거리가 짧다는 한계로 인해 상대적으로 주행거리가 긴 경유 차량보다는 휘발유 차량을 대체할 것이기 때문이다. 또한 전기자동차라고 해도 순수 전기차를 제외한 HEV나 PHEV는 기존 주유

인프라를 이용할 수 있기 때문에 현재의 휘발유 승용차보다 주행거리가 짧을 것이라고 볼 수 없다. 또한 승용차 대체는 수송 수요 대체를 의미하기 때문에, 동일한 운행 수요를 유지하려면 승용차 기술에 따라 주행거리가 변동하지 않는다는 가정은 크게 무리한 것이 아니다.

또한 교통안전공단⁵⁹⁾의 통계는 승용차 주행거리를 배기량(차급)별로 제공하지 않고 평균치를 제시하기 때문에, 각 연료별 모든 차급의 주행거리도 평균치와 동일하다고 간주한다.

〈표 4-2〉 연료별 승용차 연평균 주행거리 (2010년 기준)

(단위: km)

구분	휘발유	경유	LPG	기타연료
비사업용 승용차	10,401	15,469	17,523	10,272
사업용 승용차	21,329	26,274	73,018	42,402

자료: 교통안전공단(2011)

세 번째 에너지수요 결정 요인인 연료별·배기량별 승용차 연비실적 자료는 지식경제부·에너지경제연구원(2012)의 ‘2011년도 에너지총조사’ 자료와 지식경제부·에너지관리공단(2011, 2012)의 연료별·배기량별 연비 간 상대 비율을 활용하여 작성하였다. 또한 EV와 PHEV의 연료효율은 미국 에너지부에서 제공하는 공식 연비자료를 이용하였다.⁵⁹⁾

59) MDB capital group(2008)은 승용차 연비를 마일 당 킬로와트시(kWh/mile)로 비교하였다. 미국의 평균 휘발유 승용차 연비를 1.58kWh/mile(약 23mpg)로 보았으며, 플러그인 하이브리드는 약 0.5kWh/mile, 순수 전기자동차의 평균 전력 소비는 0.27kWh/mile 수준이라고 하였다. 이에 따르면 플러그인 하이브리드차는 일반적인 휘발유 자동차보다 연비가 3배 좋고, 순수 전기자동차는 연비가 약 5.5배 좋다는 의미이다. 기술별 자동차의 연비는 기관에 따라, 자료에 따라

〈표 4-3〉 내연기관 자동차 연비(2010년 기준)

구분	경형	소형	중형	대형
휘발유 승용차	12.30	11.37	9.21	6.34
경유 승용차	14.87	12.88	9.93	7.00
LPG 승용차	9.20	8.72	7.24	5.55

자료: 지식경제부·에너지경제연구원(2012), 지식경제부·에너지관리공단(2011)

〈표 4-4〉 순수 전기자동차(EV) 연비

구분	경형(mini)		소형(small)	
	Nissan Leaf	Mitsubishi i-MiEV	CODA Automotive	Ford Focus
모터 용량(kw)	80	66	100	107
연비(km/ℓ)	42.09 (99mpg)	47.10 (112mpg)	31.04 (73mpg)	44.64 (105mpg)
연비 평균(km/ℓ)	44.85		37.84	

주: 1mpg(mile/gallon) = 0.42514km/ℓ

자료: 미국 에너지부의 공식 연비 정보(<http://www.fueleconomy.gov>)

〈표 4-5〉 플러그인 하이브리드(PHEV, Chevrolet Volt) 연비

구분	전기 이용 시	고급휘발유 이용 시
연비(km/ℓ)	41.66 (98mpg)	15.73 (37mpg)
동력사용 비율(%)	60.0	40.0
연비 평균(km/ℓ)	31.29	

주: 배터리와 엔진 사용비율은 IEA 등 타 자료를 참고하여 60:40으로 가정

자료: 미국 에너지부의 공식 연비 정보(<http://www.fueleconomy.gov>)

위의 자료에 따르면, 순수 전기차의 연비는 기존 휘발유 차량(에너지총조사 자료) 대비 3.5배 정도 높았으며, 플러그인 하이브리드 차는

차이가 있기 때문에 본 연구에서는 실제 연비와 가까운 공인연비 수치를 제공하는 미국 에너지부의 자료를 기반으로 하였다.

2.5배 높은 것으로 나타났다. 따라서 공식 연비가 존재하지 않는 중형 급과 대형급 전기자동차(EV, PHEV)의 연비도 동급 휘발유 승용차 대비 위에 제시된 비율만큼 높다고 가정하였다. 하이브리드 차량에 대해서는 모든 차급별로 휘발유 차량보다 연비가 50% 높다고 가정하였다.

한편, 우리나라의 전원 구성은 2024년까지는 ‘제5차 전력수급계획’을 채택하였으며, 그 이후 연도에 대해서는 KEEI-EGMS의 발전설비 채택 모형에 따라 전원 구성이 이루어지도록 하였다.

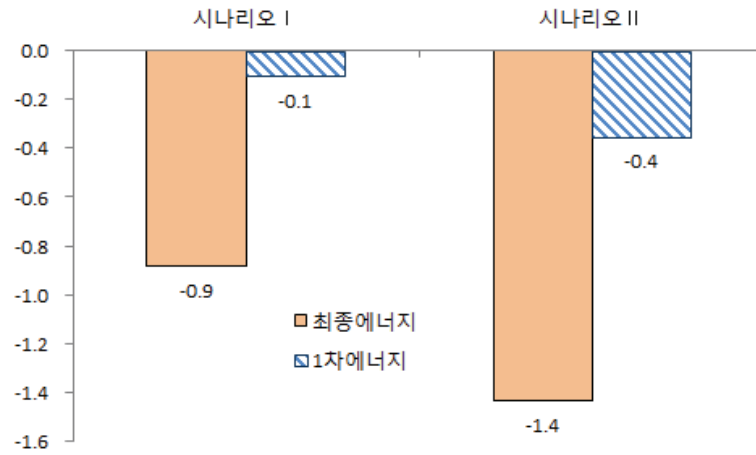
3. 분석 결과

가. 에너지 수급 영향

전기자동차 보급이 시나리오Ⅱ의 상황으로 전개될 경우의 에너지소비에 미치는 영향을 살펴보면, 2035년 최종에너지 수요는 기준안 대비 1.4% 감소할 것으로 전망된다. 최종에너지 수요 감소분은 전부 수송부문에서 발생하는데, 2035년에 기준안 대비 총 8.8%의 수송용 에너지 수요가 줄어들 전망이다. 최종에너지원별로는 석유가 2035년에 기준안보다 4.3% 감소하는 반면 전력은 승용차용 신규 수요 발생으로 기준안 대비 1.5% 증가할 것으로 예상된다. 2035년에 신재생에너지가 기준안보다 0.7% 줄어드는 이유는 경유 수요 감소에 따라 경유에 일부 포함되어 있는 바이오디젤이 같은 비율로 줄어들기 때문이다.

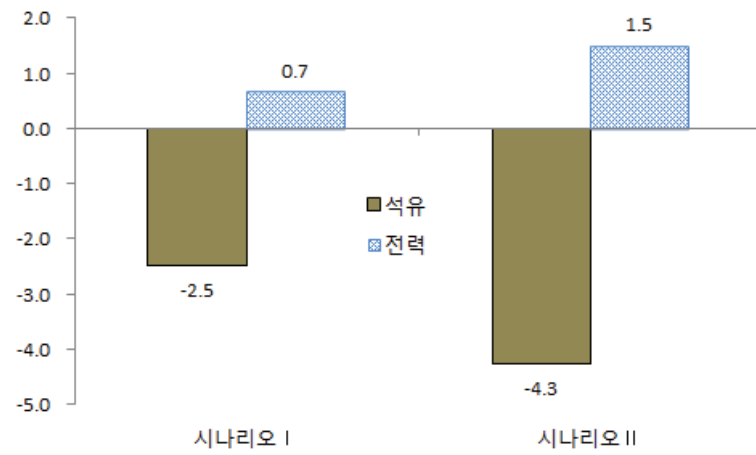
[그림 4-5] 최종 및 1차에너지 절약 효과

(단위: %)



[그림 4-6] 최종부문 석유 및 전력수요 변화 효과

(단위: %)



연구 목적에서 우리가 중요하게 보았던 1차에너지 기준으로 보면, 친환경차 보급 시나리오Ⅱ에서 2035년에 기준안 대비 0.4%의 에너지 절약 효과(136만 TOE 감소)가 발생할 것으로 전망되었다. 에너지수요 절감율이 최종에너지를 기준으로 했을 때보다 훨씬 작게 나타나는 이유는 전력 수요 증가로 인해 에너지전환 손실분이 늘어나기 때문이다.⁶⁰⁾

1차에너지 원별로 보면, 석유가 4.2% 감소하는 반면, 전력 수요 증가로 인해 기저발전원인 원자력과 석탄의 수요가 각각 3.2%, 1.7% 증가할 것으로 전망되었다. 즉, 전기자동차 보급에 따른 최대 전력 수요 증가로 2035년에 기준안보다 원자력과 유연탄 설비가 더 필요하다는 것을 의미한다. 이는 ‘제4차 전력수급계획’상 2020년에 추가 설비 증설 없이 전기자동차의 전력 수요를 공급할 수 있다는 전력거래소(2009)의 연구 결과와는 다른 것이다.⁶¹⁾ 신재생에너지는 2035년에 최종부문에서는 0.7% 감소하였으나, 1차에너지원 기준으로는 기준안보다 0.7% 증가할 것으로 예상되었다. 이는 ‘신재생에너지공급 의무화 제도’(Renewable Portfolio Standard: RPS)⁶²⁾ 등의 영향으로 전력수요 증가와 함께 신재생에너지 발전량도 증가할 것으로 전망되었기 때문

60) 발전부문의 전환효율은 약 37%에 불과하므로, 1TOE의 전력을 생산하기 위해서는 약 2.7TOE의 1차에너지 투입이 필요하다.

61) 전력거래소(2009)는 전기자동차 보급에도 불구하고 2020년에 전력소비(판매)량은 약 0.03~0.8%, 최대 전력수요는 약 0.05~1.3% 증가하는데 그칠 것으로 예상하였다. 따라서 전기자동차 보급이 발전소 추가 건설 등 ‘4차 전력수급계획’을 변경할 만한 영향을 주지는 않는다고 주장하였다. 유럽 컨설팅회사인 CE Delft(2010)도 전기자동차 보급 속도에 대한 세 가지 시나리오를 설정하여 전력수요 영향을 분석하였는데(제4장 주요 선행연구 참조), 2020년의 전력 수요는 2006년 대비 0.3~2.9% 증가하는데 머물 것으로 전망하였다.

62) 이 제도에 따라 발전회사들은 자사의 발전량 중 신재생에너지 발전이 차지하는 비중을 매년 상향하여 2022년까지 10%로 올려야 한다.

이다. 반면, 침두부하 발전용으로 사용되는 천연가스는 원자력 등 기
저 발전설비 및 발전량의 증가가 전망됨에 따라, 2035년에 기준안보
다 수요가 2.1% 줄어드는 현상이 발생하였다.

〈표 4-6〉 기준안 수요 전망

(단위: 백만 TOE)

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035	연평균 증가율(%)
1차에너지 수요							
석탄	75.9	90.6	102.4	103.9	110.7	115.1	1.68
석유	104.3	106.1	112.9	114.1	114.7	113.3	0.33
천연가스	43.0	44.8	44.8	51.5	55.7	59.1	1.28
수력	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.8	0.93
원자력	31.9	43.9	56.7	66.9	74.5	79.5	3.71
신재생·기타	6.1	8.8	13.6	16.7	18.0	19.0	4.67
계	262.6	295.7	332.0	354.8	375.3	387.7	1.57
에너지원별 최종에너지 수요							
석탄	28.0	30.4	32.7	33.5	34.3	34.7	0.87
석유	100.4	103.7	110.4	112.6	113.1	111.5	0.42
도시가스	21.1	25.5	29.8	33.0	35.7	37.5	2.33
전력	37.3	44.9	52.8	59.3	64.8	68.7	2.47
열에너지	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.5	2.92
신재생·기타	5.3	6.0	6.6	6.9	7.2	7.5	1.34
계	193.8	212.6	234.8	248.2	258.3	263.5	1.24
부문별 최종에너지 수요							
산업	115.2	129.8	144.4	151.9	157.9	161.0	1.35
수송	36.9	38.3	40.8	42.4	43.1	43.1	0.62
가정	21.7	21.8	22.8	23.4	23.7	23.7	0.36
상업	15.6	17.6	21.1	24.1	26.6	28.2	2.39
공공/기타	4.5	5.0	5.7	6.4	7.0	7.5	2.08

〈표 4-7〉 보급 시나리오 I 수요 전망

(단위: 백만 TOE)

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035	연평균 증가율(%)
1차에너지 수요							
석탄	75.9	90.6	102.4	103.9	110.7	117.1	1.75
석유	104.3	105.9	112.2	112.7	112.7	110.6	0.23
천연가스	43.0	44.8	44.9	51.8	56.2	56.9	1.13
수력	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.8	0.93
원자력	31.9	43.9	56.7	66.9	74.5	82.0	3.84
신재생·기타	6.1	8.8	13.6	16.8	18.1	19.0	4.68
계	262.6	295.5	331.5	353.8	373.8	387.3	1.57
에너지원별 최종에너지 수요							
석탄	28.0	30.4	32.7	33.5	34.3	34.7	0.87
석유	100.4	103.5	109.7	111.3	111.0	108.8	0.32
도시가스	21.1	25.5	29.8	33.0	35.7	37.5	2.33
전력	37.3	44.9	52.9	59.5	65.1	69.2	2.50
열에너지	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.5	2.92
신재생·기타	5.3	6.0	6.6	6.9	7.2	7.4	1.33
계	193.8	212.4	234.2	247.0	256.6	261.1	1.20
부문별 최종에너지 수요							
산업	115.2	129.8	144.4	151.9	157.9	161.0	1.35
수송	36.9	38.1	40.2	41.2	41.4	40.8	0.40
가정	21.7	21.8	22.8	23.4	23.7	23.7	0.36
상업	15.6	17.6	21.1	24.1	26.6	28.2	2.39
공공/기타	4.5	5.0	5.7	6.4	7.0	7.5	2.08

〈표 4-8〉 보급 시나리오Ⅱ 수요 전망

(단위: 백만 TOE)

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035	연평균 증가율(%)
1차에너지 수요							
석탄	75.9	90.6	102.4	103.9	110.7	117.1	1.75
석유	104.3	105.7	111.7	111.8	111.2	108.6	0.16
천연가스	43.0	44.9	45.1	52.2	56.8	57.9	1.20
수력	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.8	0.93
원자력	31.9	43.9	56.7	66.9	74.5	82.0	3.84
신재생·기타	6.1	8.8	13.6	16.8	18.1	19.1	4.70
계	262.6	295.4	331.2	353.2	373.0	386.4	1.56
에너지원별 최종에너지 수요							
석탄	28.0	30.4	32.7	33.5	34.3	34.7	0.87
석유	100.4	103.4	109.2	110.3	109.5	106.8	0.25
도시가스	21.1	25.5	29.8	33.0	35.7	37.5	2.33
전력	37.3	44.9	53.0	59.7	65.5	69.8	2.53
열에너지	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.5	2.92
신재생·기타	5.3	6.0	6.6	6.9	7.2	7.4	1.31
계	193.8	212.3	233.8	246.3	255.4	259.7	1.18
부문별 최종에너지 수요							
산업	115.2	129.8	144.4	151.9	157.9	161.0	1.35
수송	36.9	38.0	39.8	40.5	40.2	39.3	0.25
가정	21.7	21.8	22.8	23.4	23.7	23.7	0.36
상업	15.6	17.6	21.1	24.1	26.6	28.2	2.39
공공/기타	4.5	5.0	5.7	6.4	7.0	7.5	2.08

분석 결과, 예상대로 전기자동차 보급의 영향으로 전기가 석유를 대체하여 수송부문에서는 석유 수요가 크게 줄어들며, 발전부문에서는 전력 수요 증가로 1차에너지 투입이 늘어나는 결과가 나타났다. 정부의 전기자동차 보급 정책이 지속되고, 배터리 기술발전이 빠르게 진행된다 가정했을 때, 우리나라의 석유 의존도는 2035년 29.2%에서 28.1%로 줄어들 전망이다.

그러나 전기자동차 보급 확대에 따라 전력 수급 안정의 중요성은 더욱 커질 것이다. 2035년에 기준안보다 전력 수요(판매)량은 크게 증가하지 않으나(1.5%), 전력수급에 영향을 주는 최대 전력수요는 더 빠르게 증가하여 추가적인 설비 증설을 유발할 것으로 예상된다. 이에 대한 분석은 제5장에서 상세히 다루도록 한다. 따라서 전기자동차 충전이 여름철 및 겨울철 최대부하 시간대에 집중되지 않도록 분산하는 정책이 중요하다. 이에 대한 방안으로는 ‘배터리 교환’을 활성화하는 방법이 있을 수 있으며, 장기적으로 스마트그리드를 통해 전력 수급을 관리할 필요가 있다. 즉, 하루의 대부분의 시간동안 멈춰있는 전기자동차를 피크시간 대에 대용량 배터리로 활용하는 것이다. 이를 ‘V2G’(Vehicle to Grid)라고 한다. 미국에서는 시범사업을 통해 V2G의 부하관리 효과를 입증한 것으로 알려져 있다.⁶³⁾

63) 미국의 델라웨어대와 ISO(Independent System Operator)인 PJM Interconnection이 상업적 성격의 프로젝트를 추진하여 2010년에 성공적으로 완료한 것으로 알려져 있다(Pike Research, 2011).

〈표 4-9〉 에너지수요 변화율(시나리오 I /기준안)

(단위: %)

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035
1차에너지 수요						
석탄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
석유	0.0	-0.2	-0.6	-1.2	-1.8	-2.4
천연가스	0.0	0.1	0.3	0.6	0.9	-3.7
수력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
원자력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
신재생·기타	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3
계	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.1
에너지원별 최종에너지 수요						
석탄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
석유	0.0	-0.2	-0.6	-1.2	-1.8	-2.5
도시가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전력	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7
열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
신재생·기타	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
계	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9
부문별 최종에너지 수요						
산업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
수송	0.0	-0.5	-1.5	-2.7	-4.1	-5.4
가정	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
상업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
공공/기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

〈표 4-10〉 에너지수요 변화율(시나리오Ⅱ/기준안)

(단위: %)

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035
1차에너지 수요						
석탄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
석유	0.0	-0.3	-1.0	-2.0	-3.1	-4.2
천연가스	0.0	0.2	0.7	1.3	2.1	-2.1
수력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
원자력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
신재생·기타	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.7
계	0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.4
에너지원별 최종에너지 수요						
석탄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
석유	0.0	-0.3	-1.1	-2.0	-3.1	-4.3
도시가스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
전력	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.5
열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
신재생·기타	0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.7
계	0.0	-0.1	-0.4	-0.8	-1.1	-1.4
부문별 최종에너지 수요						
산업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
수송	0.0	-0.7	-2.5	-4.5	-6.6	-8.8
가정	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
상업	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
공공/기타	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

나. 온실가스 배출 영향

전기자동차 보급에 따라(시나리오Ⅱ) 온실가스 배출도 예상대로 줄어듦 것으로 전망되었다. 2035년 기준으로 기준안보다 약 1.1%의 온실가스 배출 저감 효과가 나타날 것으로 예상된다. 시나리오Ⅰ의 경우는 기준안 대비 0.7%의 온실가스가 감축될 것으로 예상된다. 온실가스 배출 감축 효과는 1차에너지 수요 절약 효과(0.4%)보다는 크게 나타날 전망이다. 이는 청정에너지원인 천연가스의 수요 감소에도 불구하고, 큰 폭의 석유 수요 감소와 온실가스 배출이 없는 원자력 발전량의 증가 전망에 기인한다.

만약, 우리나라의 전원 계획이 원자력의 역할을 일정 수준으로 유지하면서 천연가스와 신재생에너지의 활용도를 높이는 온실가스 저 배출형으로 진행될 경우, 전기자동차 보급을 활성화하면 할수록 온실가스 배출 효과는 크게 나타날 것이다.

〈표 4-11〉 온실가스 배출 전망

(단위: 백만 CO₂ 톤)

구분	2010	2015	2020	2025	2030	2035
기준안	568.5	623.3	676.8	696.1	731.3	752.6
시나리오Ⅰ	568.5	622.8	675.1	693.0	726.7	747.7
시나리오Ⅱ	568.5	622.6	674.2	691.2	723.9	744.2
저감률(기준안/시나리오, %)						
시나리오Ⅰ	0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
시나리오Ⅱ	0.0	-0.1	-0.4	-0.7	-1.0	-1.1

제5장 V2G 효과 분석 및 정책 제언

1. V2G를 이용한 전력수요 관리 효과 분석

가. 스마트그리드를 통한 전력 수요 관리

여기서는 몇 가지 가정을 통해 전기자동차 보급이 전력 최대부하(peak load)⁶⁴⁾ 상승에 미치는 영향을 추정하고, 스마트그리드가 활성화될 경우 사용할 수 있는 ‘V2G’(Vehicle to Grid) 기술이 전력부하 감축에 어느 정도의 효과를 가질 것인지를 분석한다. ‘V2G’는 말 그대로 전기자동차에서 전력망으로 전기를 공급하는 것을 의미한다.⁶⁵⁾

전기자동차 이용의 빠른 확대는 전력망 용량 및 스마트그리드 기술에 대한 투자의 필요성을 증대시킨다. 전기자동차는 그 보급률에 따라 총 전력 소비(판매량)의 상당한 비중을 차지할 수 있고, 특히 최대(첨두)부하에 큰 영향을 미칠 수 있다.

스마트그리드 기술은 충전부하를 비 첨두부하(off-peak) 시간대로 이전하는 역할을 수행한다. 이를 통해 일 부하곡선을 완만하게 하고, 발전 및 전력망 투자 수요를 줄이는 데 일조하며, 전력생산에서 발생

64) 최대부하는 1일 또는 특정 기간의 전력부하 중 최댓값을 의미한다. 여기에서 전력부하는 전력 수요를 가리킨다. 피크부하는 현재 및 미래 전력인프라 수요에 대응하기 위한 시스템 설계의 중요한 기준 역할을 한다. 전력부하가 일중 및 연중 계속 변함에 따라, 발전, 송전, 배전의 전력시스템은 항상 최대부하를 수용할 수 있어야 한다.

65) ‘V2G’는 순수 전기자동차(EV) 및 플러그인 하이브리드(PHEV)와 같은 플러그인 전기자동차의 배터리가 이동형 전력원이 되어 배터리에 남아있는 여분의 전력을 전력망으로 보낸다는 개념이다.

하는 CO₂ 배출을 최소화한다. 스마트미터(smart meter) 등 첨단 계량 장비(advanced metering equipment)는 양 방향 정보의 흐름을 가능하게 하고, 소비자와 전력회사에 실시간으로 데이터를 제공하며, 소비자가 자신 및 전력회사가 지불해야 할 비용을 최소화할 수 있도록 전기자동차 충전(G2V, Grid to Vehicle)을 계획할 수 있게 해 주는 필수 요소이다. 스마트미터는 소비자의 전력소비 데이터를 실시간 또는 정해진 시간 간격으로 수집하고, 저장하며 보고한다. 그리고 소비자들에게 가격 신호를 전달하여 가격이 가장 높은 첨두부하 시간대에 전기자동차 충전을 피하도록 유도한다. 정교한 알고리즘과 통신 프로토콜이 충전 정보의 원격 측정을 가능하게 한다.

첨단 계량인프라는 또한 원격 연결과 연결 해제를 가능하게 한다. 가령, 전력망 운영자는 전력망 용량이 포화상태일 때, 재충전 중인 전기자동차들을 부분적으로 전력망에서 분리할 수 있다. 이와 달리 자동화된 충전 장비를 통해 비 첨두부하 시간대에 충전하게 할 수도 있다. 첨단 계량인프라는 다른 기능들도 포함할 수 있는데, 예를 들어 정전 위치 및 범위를 원격으로 확인할 수 있게 하고, 전력회사 제반 운영의 효율성을 향상한다.

이러한 기술은 유럽, 미국, 이스라엘 등의 여러 도시에 설치된 공공 배터리 충전소에서도 이용될 수 있다. 예를 들어 직장인들은 전기자동차의 주행거리에 대한 걱정을 덜기 위해 직장에 있는 동안 전기자동차를 충전할 수 있는데, 첨단 계량장비는 오전 첨두부하 시간대가 지나고 나서야 충전이 되도록 할 수 있다. 사업용 차량의 충전도 유사한 형태로 관리될 수 있다. 이는 충전시간이 배터리 기술 발달에 따라 점점 짧아지면서 더욱 매력적인 기능이 된다. 현재 대부분의 전기자동차

배터리는 수 시간 충전을 해야 하지만, 일부는 30분 이내의 고속충전이 가능하다.

장기적인 관점에서는 스마트그리드 기술을 통해 전기자동차가 분산형 저장 장치가 되어, 전체적인 전력수요가 과다할 때 전기자동차 배터리의 전력을 전력망으로 보냄으로써(V2G) 전력망을 안정화할 수 있다. 이는 비용 효과적인 순동예비력 및 첨두부하 절감용으로 활용되어 전력시스템의 비용을 줄이는 데 기여한다.

V2G 기술을 갖춘 전기자동차는 계통운영 보조서비스(ancillary service) 시장에서도 주요 역할을 할 수 있다. 계통운영 보조서비스란 전력계통을 물리적으로 안정시키고 전기품질을 유지하기 위해 제공되는 주파수 조정, 적정 예비력 확보, 무효 전력수급, 자체 기동발전 등의 서비스를 통칭한다.

V2G에 대한 초기 논의는 전기자동차 배터리의 여분 에너지를 전력요금이 비쌀 때 전력망 또는 건물에 제공하는 방식에 초점을 맞췄다. 그러나 V2G 기술을 활용한 시장의 잠재성이 커지면서 주파수제어 등의 계통운용 보조서비스로도 관심이 확대되고 있다. 전기자동차를 주파수 제어용으로 활용하는 방안은 첨두부하 감축에 활용하는 것보다 V2G로 인한 배터리 수명단축 현상을 완화하기 때문에 자동차 제조업체들로부터 보다 높은 지지를 받고 있다.

전력수요는 계속해서 증가하고 있고, 출력이 간헐적인 풍력, 태양광 등의 재생에너지 발전도 지속적으로 확대되고 있다. 이러한 상황은 전력수요 증가 대응과 전력계통 안정 및 품질유지를 위한 자원의 필요성을 더욱 높이게 되며, V2G의 잠재력에 대한 관심을 고조시키고 있다. V2G 자동차는 배터리에 남아 있는 전력을 이용하여 기존 중앙발

전 자원 대비 전력 수요자와 보다 가까운 지점에서 전력망을 안정화할 수 있다는 특징도 있다.

IEA(2011.8)는 스마트그리드를 통해 V2G와 G2V를 관리함에 따라 첨두부하가 어느 정도 줄어드는 지를 검토하였다. 연구 결과, 2010~2050년간 북미 OECD 국가에서 스마트그리드를 적용하지 않았을 때는 첨두부하가 29% 상승하지만, 전기자동차 충전을 지능적으로 관리할 경우 19% 상승하며, V2G를 함께 결합할 경우에는 12% 상승에 그치는 것으로 나타났다.

나. 스마트그리드의 전기자동차 전력수요 관리 효과 분석

전기자동차 운행은 전력망에 흐르는 전기가 전기자동차 배터리에 충전(G2V)됨으로써 가능해진다. 만약 피크수요 시간대에 전기자동차 충전 수요가 많아지면 전력망 관리가 더욱 어려워진다. 그러나 앞서 언급하였듯이 전기자동차는 V2G를 통해, 즉 첨두부하 시간대에 배터리에 남아 있는 여분의 전기를 전력망에 보내 전력망을 안정화할 수 있는 잠재력이 있다. V2G는 전력수급 균형 및 첨두부하 감축에 수요자의 참여를 가능하게 하는 스마트그리드 기술에 의해 실현 가능하다. 이에 전기자동차가 피크수요에 미치는 영향을 검토할 때, 전기자동차 보급에 따른 첨두부하 증가분에서 V2G 기술 적용에 따른 첨두부하 감축분을 차감하는 것을 고려해야 한다.

1) 전기자동차 충전용량

충전전력은 충전기의 사양에 의해 좌우된다. 충전기의 사양은 비교

적 간단하게 가정할 수 있다. 미국 DOE(에너지부, 2008)는 충전기 사양을 1.44kW, 3.3kW, 60~150kW로 구분하였고, 프랑스 전력회사 EDF는 3kW, 6kW, 24kW, 43kW, 150kW로 구분하였다. 용량 규모가 클수록 고속으로 충전되는 방식이다(IEA, 2011.6). 2012년 현재 고속 충전 기술의 대표적인 예로서 일본 전기자동차산업이 도쿄전력회사와 협력하여 개발한 CHAdeMO DC 충전 표준을 들 수 있다. 이 표준은 50kW까지 충전용량을 올릴 수 있고, 20분 내에 80% 정도의 충전을 가능하게 한다(BNEF, 2012).

그러나 고속충전은 빠른 시간 내에 충전할 수 있다는 장점이 있으나, 상대적으로 비용이 높으면서 배터리 수명을 단축하기 때문에 보편적으로 사용되는 방식은 아니다. 최적의 고속충전은 몇 분 안에 새로운 배터리로 교체하는 배터리 교환방식이 될 수 있다. 배터리 교환방식에서도 비용 감소와 배터리 수명 단축을 최소화하기 위해 저속충전 방식을 활용할 가능성이 높다(IEA, 2011.8).

RWTH(2010)은 전기자동차의 90%가 저속으로 충전하고 10%는 고속으로 충전할 것이라고 전망하였고, IEA(2011.8)는 이 전망을 근거로 저속충전 3.7kW, 고속충전 40kW를 기준으로 삼아 평균 충전전력이 7.3kW가 될 것으로 추정하였다. 본 연구에서는 이 추정치를 준용한다.

2) 전기자동차 방전용량

전기자동차가 방전을 통해 전기자동차 배터리에 남아있는 여분의 전기를 전력망으로 되돌려 보낼 경우, 그 방전량을 어떻게 계산할 것 인지는 다소 복잡한 문제이다. 방전량이 배터리 용량에 의해 제약을

받을 지의 여부는 불확실하다. 플러그인 전기자동차의 경우 엔진이 발 전기 역할을 할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 배터리에서 에너지를 공급하는 V2G 서비스만을 고려하기로 한다.

Kempton(2005)은 식(5-1)과 같은 공식으로 전기자동차가 전력망에 전달할 수 있는 에너지를 정의하였다.

$$P_{VEH} = \frac{(E_S - \eta_{EV/PHEV} \times (d_D + d_{RB})) \times \eta_{INV}}{t_{DISP}} \quad (5-1)$$

여기에서 P_{VEH} 는 V2G(kW)를 통해 전달할 수 있는 최대 전력용량이다. E_S 는 인버터에 전달할 수 있는 직류로서 이용 가능한 배터리 저장 에너지(kWh)이다. d_D 는 배터리가 최대로 충전된 이후 운행한 거리(km)이며, d_{RB} 는 운전자가 요구하는 최소 여유 주행거리(range buffer, km)를 의미한다. $\eta_{EV/PHEV}$ 는 전기자동차 및 플러그인 자동차의 주행 효율성(kWh/km)이며, η_{INV} 는 인버터에서 배터리의 직류가 교류로 전환할 때의 효율성이다. 그리고 t_{DISP} 는 전기자동차의 저장된 에너지가 전력망으로 급전되는 시간을 의미한다.

IEA(2011.8)에 따라 배터리 저장용량 E_S 는 EV가 30kWh, PHEV가 8kWh로 가정한다. 그리고 EV와 PHEV의 평균 주행효율성($\eta_{EV/PHEV}$)은 0.15kWh/km로 가정한다.⁶⁶⁾ 배터리가 완전히 충전된 이후 주행한 거리 d_D 는 운전 행태, 차량 종류, 운전자의 충전계획 등 다양한 특성

66) IEA(2011.8)에서는 주행효율성 기준을 0.2kWh/km로 설정하고 있다. 그러나 2011년 10월 마련된 전기자동차의 에너지소비 효율 기준에 따르면, 주행효율성이 0.2kWh/km보다 우수하도록 요구하고 있고, 현재 국내 르노삼성차의 SM3 ZE와 기아차의 RAY 전기차의 주행효율성이 각각 0.17kWh/km, 0.14kWh/km 수준이다(지식경제부, 2011.12.22. 보도자료). 이에 본 연구에서는 전기차의 주행효율성은 0.15kWh/km 수준으로 상향 설정한다.

에 의해 영향을 받는다. 국내의 경우 운전자 당 평균 하루 주행거리는 28km이다.⁶⁷⁾

운전자가 필요로 하는 최소 여유 주행거리(d_{RB})는 자동차의 특성에 따라 계산되는 공학적 수치가 아니다. d_{RB} 의 결정은 바로 운전자 또는 자동차 운영업체가 하는데, 예를 들어 편의점이나 병원과 같이 기대하지 않았던 곳으로의 운행을 위해 필요한 여유 주행거리를 남겨놓게 된다. Kurani et al.(1994)는 미국 캘리포니아 운전자들과의 인터뷰를 통해 32km 정도(미국인 하루 주행거리의 약 63% 수준)가 대부분의 운전자들에게 최소 여유 주행거리로 인식되고 있다고 주장하였다. Kurani et al.(1994)의 조사결과를 토대로 국내 운전자 당 평균 하루 주행거리의 70% 수준인 20km를 최소 여유 주행거리로 설정한다. PHEV는 완전 방전되더라도 항시 내연 엔진을 통해 운행할 수 있으므로 PHEV의 d_{RB} 는 '0'으로 설정하였다. 그리고 인버터의 효율성(η_{INV})은 Kempton and Tomić(2005)이 가정한 바와 같이 0.93으로 설정하였다.

<표 5-1>은 위의 공식을 이용하여 V2G를 통해 배터리에서 전력망으로 보낼 수 있는 방전부하(discharging load, 단위: kW)를 표시하고 있다.

67) Kempton and Tomić(2005)는 운전자가 전기자동차 운행을 중단하고 다음날 운행을 위해 재충전을 하게 될 때까지 평균 하루 주행거리의 절반을 운행한다고 가정하였다. 본 연구에서도 이 가정을 이용한다면 국내에서 운전자 당 전기자동차의 평균 일일 주행거리는 14km이다. 그러나 2012년 현재 배터리용량 및 효율성 증대에 따라 1회 충전으로 일일 평균 주행거리의 약 3배 이상을 달릴 수 있기 때문에 본 연구에서는 일평균 주행거리를 하루 중 충전된 이후 주행한 거리로 설정한다.

〈표 5-1〉 전기자동차의 V2G를 통한 방전용량

구분	EV	PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV
t_{DISP} (h)	1	1	2	2	3	3	4	4
DD (km)	28	28	28	28	28	28	28	28
d_{RB} (km)	20	0	20	0	20	0	20	0
E_s (kWh)	30	8	30	8	30	8	30	8
η_{INV}	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
$\eta_{EV/PHEV}$ (kWh/km)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
P_{VEH} (kW)	23.30	4.09	11.65	2.05	7.77	1.36	5.83	1.02
PEV/PHEV (kW)	13.7		6.85		4.57		3.42	

V2G를 통한 급전시간을 가리키는 t_{DISP} 는 순동예비력(spinning reserve)용으로 몇 분이 될 수도 있고, 첨두부하 대응용으로 몇 시간이 될 수도 있다. 첨두부하는 하루 중 3~5시간 정도 나타나는데(IEA, 2011), 전기자동차의 첨두부하 영향을 검토하고 있는 본 연구에서는 t_{DISP} 의 시간대를 3~4시간으로 설정하였다. 그리고 IEA 데이터에 따르면, EV와 PHEV의 보급대수는 비슷할 것으로 전망된다. 이에 EV와 PHEV의 V2G 용량(PDISCHG, discharging power(kW))은 EV와 PHEV의 평균치를 활용하였다. 이러한 가정 하에 위의 표에 따라 방전용량을 4kW로 설정하여 단순화하였다.

3) 전기자동차의 첨두부하 영향 및 스마트그리드 효과

첨두부하 기간에 전력망에 연결된 전기자동차의 비중(f_{EV})은 전체 전기자동차의 전력망 부하에 큰 영향을 미친다. 보통 자동차는 하루

24시간 중 5%만 운행되고 나머지 95%는 멈춰있는 것으로 보도되고 있다. 그런데 침두부하 시간대에 자동차 운행 비율도 높아지는 경향이 있기 때문에, 침두부하 시간대에 전력망에 연결되어 있는 전기자동차의 비중은 정차된 비중(95%)보다는 낮아질 것이다. 본 연구에서는 침두부하 시간대에 전기자동차의 40%가 전력망에 연결된다고 가정한다.⁶⁸⁾

그러나 스마트그리드가 침두부하 시간대에 전기자동차를 대상으로 부분적으로 전력망 연결을 해제하거나 충전율을 낮춤으로써 부하를 줄일 수 있다. 전기자동차 충전관리 시장은 이미 성숙한 기술 수준에 따라 곧 성장하기 시작할 것으로 전망된다. 승용차부문의 전력화(electrification)가 진행되고 있어, 보급되는 전기자동차에 대한 특정 수준의 부하 관리는 필요한 상황이다.

한편, V2G는 비용 집약적이며, 전기자동차와 전력망 간 양방향 전력흐름을 가능하게 하는 보다 많은 인프라가 필요하기 때문에 전기자동차 충전관리 시장보다는 느리게 성장할 전망이다. V2G에 참여하는 전기자동차의 배터리는 그렇지 않은 차의 배터리보다 성능저하(degradation) 현상이 빨리 오는데, 이러한 배터리 성능 저하에 대한 비용이 전력회사가 소비자에게 보상하는 가격에 반영될 필요가 있다. 그러나 그 성능저하를 현금화하기 쉽지 않다. 또한, 소비자가 V2G에 참여하면 그만큼 주행거리가 짧아지기 때문에 다시 충전을 해야 하는 번거로움이 발생하여 G2V보다 수용성이 떨어진다. 그리고 전기자동차와 배터리 성능보장 문제로 자동차 제조업체들이 V2G를 적극 지지

68) IEA(2011.8)은 스마트그리드가 적용되지 않는 상황에서 침두부하 시간대에 전기자동차의 충전 대수를 최대 50%로 설정하고 있고, 전력거래소(2009)는 30%로 설정하고 있다. 본 연구에서는 이 중간 값인 40%를 채택한다.

하기를 꺼려한다.

요금구조는 충·방전 시간대에 영향을 미치는 핵심 요인이다. 본 연구에서는 전기요금이 현재와 같을 경우 전력망에 연결된 전기자동차 비중을 40%로 가정하고 있다. 만약 시간대별 또는 첨두부하 시간에 차별적인 요금을 부과한다면 첨두부하 시간에 G2V를 줄이고 V2G를 확대하는 효과가 나타날 것이다. 따라서 지능형 요금제가 스마트그리드와 결합될 경우, 전기자동차의 첨두부하 증대 효과를 보다 최소화할 수 있다. <표 5-2>에는 3가지 시나리오가 제시되어 있다. 스마트그리드 활용이 이루어지지 않고 있는 기준(BAU) 시나리오에서는 첨두부하 시간대의 G2V 비중이 40%인 반면 V2G는 존재하지 않는다. 그리고 변동요금제와 스마트그리드 기술을 활용하는 정도에 따라 ‘SG(smart grid) 저활용’과 ‘SG 고효용’ 시나리오로 구분된다(IEA, 2011.8). ‘SG 저활용’에서는 첨두부하 시간대의 G2V 비중이 30%로 축소되고, V2G는 5% 수준이다. ‘SG 고효용’에서는 첨두부하 시간대의 G2V 비중이 20%로 축소되고 V2G는 15%로 확대되면서 전기자동차의 최대 전력부하 증대 효과를 크게 완화한다. 본 연구에서도 이 시나리오를 준용한다.

〈표 5-2〉 전기자동차의 첨두부하 시간대 전력망 연결 비중(%)

시나리오	$f_{EV(G2V)}(\%)$	$f_{EV(V2G)}(\%)$
기준(BAU)	40	0
SG 저활용	30	5
SG 고효용	20	15

주: $f_{EV(G2V)}$: 충전(G2V)을 위해 전력망에 연결된 전기자동차 비중
 $f_{EV(V2G)}$: 방전(V2G)을 위해 전력망에 연결된 전기자동차 비중

지금까지 논의한 내용을 바탕으로 전기자동차의 침투부하 영향을 식(5-2)와 같이 공식화할 수 있다(IEA, 2011.8).

$$PL_{G2V/V2G} = \underbrace{\delta(t) \times N_{EV/PHEV}(t)}_{G2V} - \underbrace{\epsilon(t) \times N_{EV/PHEV}(t) \times AMI(t)}_{V2G} \quad (5-2)$$

위 식에서 계수 δ 는 침투부하 시간대에 충전하고 있는 자동차 비중과 자동차당 평균 충전전력(kW)의 곱으로 결정된다. 계수 ϵ 는 침투부하 시간대에 방전하고 있는 자동차 비중과 자동차당 평균 방전전력(kW)의 곱으로 결정된다. 그리고 $N_{EV/PHEV}(t)$ 는 t시기에 보급되어 있는 전기자동차의 수이다. 한편, V2G 효과에서 AMI(advanced metering infrastructure)를 추가로 고려하는 이유는 AMI를 통한 수요반응(demand response: DR)이 가능해지는 환경이 마련된 후에야 V2G가 가능해질 것으로 판단하였기 때문이다.

AMI는 통신시스템을 이용하여 스마트미터(smart meter)로부터 차별화된 에너지사용 데이터를 수집하는 시스템이다. AMI의 보급률은 스마트미터를 통해 전력망에 연결된 소비자의 비중을 나타낸다. 미국 에너지부(DOE)에서는 ‘Guidance for Electric Metering in Federal Building’을 통하여 ‘스마트 미터는 시간 간격 간 데이터를 측정하며 기록하는 능력을 가지고 AMI에 쉽게 통합될 수 있는 형식으로 데이터를 원격지점으로 통신할 수 있어야 한다’라고 정의하고 있으며, Global Smart Energy에서는 ‘소비되는 에너지의 양과 발생시간을 측정하고 내부적으로 측정할 수 있는 능력을 가져야 하고 측정결과를

자동 전송할 수 있어야 하며, 양방향 통신이 가능하여야 한다'라고 정의하고 있다(김석곤, 2011).

스마트미터는 시간별 또는 보다 짧은 간격으로 전력소비를 측정함으로써 변동 전기요금제를 가능하게 한다. 이 장치는 가정 내 디스플레이(in-home display)와 통신하고 실시간 전력소비 및 전기요금을 보여준다. 그러나 변동요금제가 갖춰져 있지 않을 경우 스마트미터는 침두부하 관리에 있어서 특별한 기능을 발휘하지 못한다.

그러나 스마트미터가 갖춰진다고 해서 곧바로 AMI가 구축되는 것은 아니며, AMI가 구축된다고 해서 곧바로 V2G가 가능해지는 것은 아니다. 궁극적으로 V2G가 가능하기 위해서는 먼저 V2G가 상용화되어야 하며, V2G 지원 기능을 갖춘 AMI가 구축되어야 한다. 우리나라는 2020년까지 모든 가구에 스마트미터를 100% 보급할 계획이고, 2030년까지 추가적인 계량시스템 고도화를 통해 합리적인 에너지소비를 위한 수요반응 시스템을 최적화한다는 계획이다(지식경제부, 2010).⁶⁹⁾ 따라서 2030년까지 AMI 구축이 이루어진다고 가정해 볼 수 있다. 그러나 V2G 기술 상용화 시기가 언제인지, V2G 지원 AMI 보급률이 어느 정도인지에 따라 AMI의 V2G 영향은 달라질 것이다. 본 연구에서는 V2G 지원 AMI 보급이 2017년부터 시작되고 2035년에 완료될 것이며, V2G 지원 AMI가 구축됨과 함께 V2G가 가능하다고 가정한다.

V2G 지원 AMI의 구축은 초기에 지수함수 형태의 성장을 보이다가

69) 2012년 6월 현재 한전은 스마트미터를 고압 고객(100kW 이상, 17만호)은 보급 완료하였고, 저압 고객(1,850만호)은 55만호(전체의 3.4%)에 보급한 실정이다. 제1차 지능형전력망 기본계획(2012.6)에 따르면, 2016년까지 전국 저압 고객 55%(1,000만호)에 대해 스마트미터를 단계적으로 보급하고, 2020년까지 전국 모든 가구(저압, 고압)에 대해 스마트미터 보급을 완료한다는 계획이다.

점차 성장률이 둔화되고 최종적으로 대부분의 가정에 AMI가 구축되면서 성숙단계에 이를 것으로 가정한다. 이에 2017년부터 2035년까지 특정 연도의 V2G 지원 AMI 구축 비중은 식(5-3)과 같은 공식으로 표현될 수 있다.

$$\frac{dAMI}{dt} = r \times STEP(T_{Target} - T_{Now}) \times AMI(t) \times (1 - AMI(t)) \quad (5-3)$$

계수 r 은 최대 AMI 보급률을 목표연도에 맞추기 위한 보정계수이다. STEP 함수는 AMI의 전체 보급 목표 시점에 도달하기 전까지 AMI 보급률이 계속 증가한다는 것을 보여준다. T_{Target} 은 국가 전체적으로 V2G 지원 AMI 구축이 완료되는 연도이며, T_{Now} 는 V2G 지원 AMI 구축 당시의 연도를 의미한다. STEP 함수는 식(5-4)와 같이 정의할 수 있다.

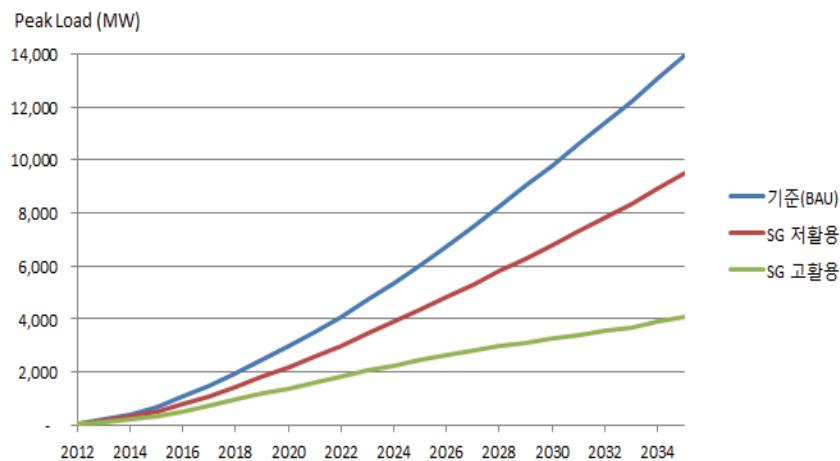
$$STEP = \begin{cases} 0 & \text{if } T_{Target} - T_{Now} < 0 \\ 1 & \text{if } T_{Target} - T_{Now} \geq 0 \end{cases} \quad (5-4)$$

지금까지 논의한 전기자동차의 충·방전 용량 입력자료 및 전기자동차의 침투부하 영향 산식을 토대로 분석할 결과, 스마트그리드 활용 정도에 따라 전기자동차가 침투부하에 미치는 영향이 크게 달라졌다.

앞의 제3장에서 제시한 전기자동차 보급 예측 시나리오 중 세제 지원 등의 정부 지원정책이 지속되고 기술개발이 빠르게 진행되는 환경(보급 시나리오Ⅱ에 해당)에서 스마트그리드 활용이 이루어지지 않을 때, 전기자동차로 인한 침투부하 증가량은 2035년 기준 13.9GW에 달

할 전망이다. 그러나 스마트그리드가 적극적으로 활용된다면, 즉 침두부하 시간대의 G2V 비중이 20%로 축소되고 V2G 비중이 15%로 확대된다고 가정하면, 2035년 침두부하 증가량은 4.1GW에 머물 것이다. 이는 스마트그리드 활용 전 침두부하 증가량에 비해 약 10GW 낮은 것으로, 1GW급 발전소 10기의 건설을 대체할 수 있는 용량이다.

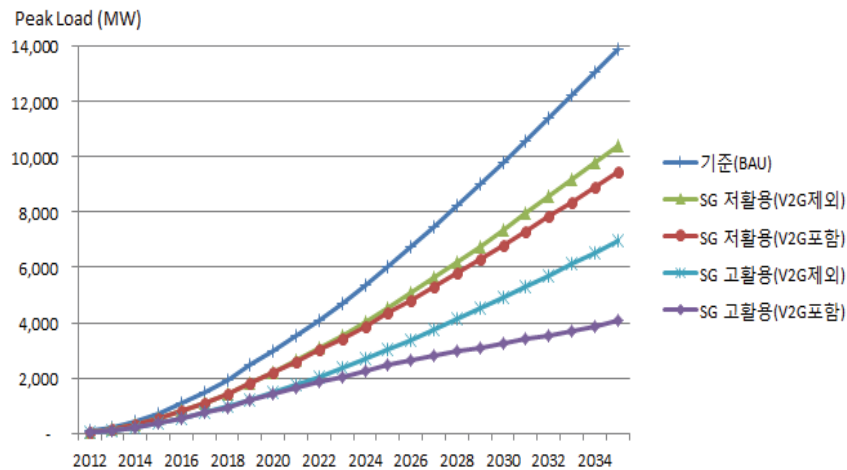
[그림 5-1] 스마트그리드 활용에 따른 전기자동차 침두부하 영향



[그림 5-1]에서 스마트그리드 활용 시 V2G를 포함할 때와 그렇지 않을 때를 구분하여 비교해 보면 아래 [그림 5-2]와 같다. 침두부하 시간대 V2G에 참여하는 전기자동차 비중이 5% 수준에 머무는 ‘스마트그리드 저활용’ 시나리오에서는 V2G포함 여부에 따라 큰 차이를 보이지 않으나, V2G에 참여하는 전기자동차 비중이 15%대로 올라가는 ‘스마트그리드 고활용’ 시나리오에서는 V2G 포함 여부에 따라 침두부하가 크게 달라진다. 스마트그리드 고활용 시나리오라고 할지라

도 V2G를 제외한 상황에서는 첨두부하 증가량이 2035년에 약 7GW에 달하지만, V2G 전기자동차 비중이 15%에 달할 경우에는 첨두부하는 4.1GW로 줄어든다. 즉, 스마트그리드를 통한 전기자동차의 충전부하(G2V) 관리와 방전부하(G2V) 관리를 함께 진행된다면 전기자동차의 첨두부하 증가 영향을 큰 폭으로 줄일 수 있게 된다.

[그림 5-2] V2G 활용 여부에 따른 전기자동차 첨두부하 영향



다. V2G 도입 장애요인

자동차 제조업체, 전력회사, 에너지수요 관리업체 등 이해당사자들의 V2G 투자는 전기자동차의 보급에 따라 영향을 받게 될 것이다. 그러나 전기자동차의 판매가 예상만큼 빠르게 증가하지 못한다면 V2G 투자규모도 함께 지연될 것이다. V2G 기술은 경차 중에서도 자가용 보다는 사업용 차량에서 빠르게 채택될 것으로 보인다. 사업용 차량은

개인 소비자가 소유한 차량보다 전력망에 보다 일관되게 연결할 수 있는 가능성이 높기 때문이다. 그리고 트럭은 대형 배터리 팩 보유와 전력을 전력망에 보다 빠르게 전달할 수 있는 잠재성으로 인해 경차보다 차량 당 V2G로 인한 수입이 높을 것이다.

V2G는 현재 대체로 시범사업 차원에서 검증 절차를 밟고 있다. V2G 기술에 대한 언급이 약 20년 전에 시작되었지만, 여전히 이 기술은 시범사업 단계를 넘지 못하고 있다. Pike Research(2011)에 따르면 상업적 성격의 프로젝트는 미국에서 유일하게 텔라웨어대와 ISO(Independent System Operator)인 PJM Interconnection이 추진하였고 2010년에 성공적으로 완료하였다. 단기적으로 V2G 기술의 상용화는 이 프로젝트들에서 수집된 데이터에 따라 방향이 설정될 것이다. V2G가 기술적으로는 가능하지만, 대규모로 상용화 하는데 있어 경제적 타당성이 있을 지에 대해서는 좀 더 지켜볼 일이다. V2G를 대규모로 상용화하는 데 대한 잠재적인 장애요인은 다음과 같다(ITF, 2012).

1) 침두부하 기간에 이용 가능한 V2G 용량의 한계: 한 지역 내의 전기자동차를 V2G용으로 활용할 수 있는 잠재량은 하루 중 시간대에 따라 다양할 것이다. 이용 가능한 V2G 용량은 보통 많은 전기자동차가 주행 중인 출퇴근 시간대에 가장 낮을 것이고, 한 밤 중에 가장 높을 것이다. 주중에는 주행 차량이 많은 출퇴근 시간이 보통 전력수요도 높아지기 마련인데, 이 때 전기자동차가 주행 중이기 때문에 V2G 용량을 활용하기 어렵게 된다. 나아가 많은 전기자동차 이용자들은 저녁 시간에 전기자동차를 사용해야 할지도 모른다는 걱정 때문에 낮 시간 동안에 V2G에 참여하기를 주저할 가능성이 높다.

2) 배터리 효율성: 효과적인 V2G 서비스가 이루어지기 위해서는 상당한 수준의 배터리 기술 향상이 요구될 것이다. 특히 전기자동차 배터리가 부하추종(load following) 목적으로 이용된다면 충·방전을(charge/discharge rate)의 증가가 필요하다. 그리고 배터리에 충전된 전력을 전력망에 다시 보낼 때, 상당한 양의 전력이 손실된다. 현재 효율성이 높은 배터리라 할지라도 충전 시 약 20%의 전력이 손실된다. 그리고 V2G 과정에서 직류인 배터리의 에너지를 교류로 전환하면서 다시 약 10%의 손실이 발생한다. 결과적으로 전반적인 배터리 효율성은 높아야 72% 수준이다.

3) 충·방전 과정(cycling)의 비용: 배터리의 충·방전은 배터리의 수명을 단축한다. 그리고 충·방전 정도(depth)도 배터리 수명에 영향을 미친다. 예를 들어 25% 방전된 배터리보다 50% 방전된 배터리를 재충전할 때 배터리 마모가 훨씬 심하다. 따라서 부분적이건 전체적이건 충·방전 과정은 비용을 동반하게 되고, 이는 V2G의 가치에 반영될 필요가 있다. 충·방전의 빈도 또한 배터리 수명을 단축하고, 충이용 가능한 사이클(cycle) 수를 감소시킨다. 원칙적으로 배터리 마모의 비용은 전력회사가 V2G를 통해 전력을 제공하는 소비자에게 지불하는 가격에 포함될 수 있다. 그러나 적절한 가치를 결정하는 방식을 정하기가 쉽지 않다. 특히, 방전의 정도와 시간이 전체 비용에 영향을 미친다. 소비자들은 V2G에 참여할 때 얻는 보상보다 배터리 수명단축에 따른 비용이 크다고 판단할 경우 V2G에 참여하기를 꺼려할 것이다. 그리고 전기자동차 배터리 성능 보증에서도 별다른 인센티브가 없을 시 전기자동차 또는 배터리 제조업체들은 V2G를 지원하지 않을 수 있다.

4) 분산된 V2G 관리 비용: 스마트그리드 기술이 V2G를 관리할 수 있다는 점이 기술적으로 증명됐지만, 아직 대규모 관리 상황에서의 기술적 및 경제성 타당성을 입증하지는 못했다. 예를 들어 100MW의 첨두부하용 가스발전기를 V2G로 대체하기 위해서는 6.6kW의 방전용량을 지닌 전기자동차 약 3만 대 정도(50% 이용 가정)가 필요하다. 이렇게 다수의 전기자동차를 관리하는 일의 복잡성은 가정 밖에 주창되어 있을 때 더욱 증가하는데, 단순히 충전소 위치뿐만 아니라 해당 자동차를 식별할 수 있어야 하며, 계량 및 요금청구 시스템을 갖추고 있어야 하기 때문이다.

이러한 요인들을 고려할 때, 충전시간이 획기적으로 줄어들지 않거나 배터리 저장용량이 크게 증가하지 않는다면, V2G 시장은 G2V보다 느리게 성장할 것으로 보인다. 당분간은 V2G가 단지 전력공급 위기상황에서만 상업적으로 그 가치를 인정받을 가능성이 높다. 예를 들어 정전 발생 시 자동차 소유주는 그의 전기자동차를 V2H(Vehicle to Home)로 사용할 수 있고, V2G 참여 시 받게 되는 보상 조건이 충분히 좋을 때 V2G에 참여하려 할 것이다.

자동차 배터리의 소유권이 누구에게 있는가도 전기자동차 소유주가 V2H 또는 V2G에 참여할지의 여부에 큰 영향을 미칠 것이다. 자동차 소유주는 그가 배터리를 월정액으로 임대할 경우 보다 V2G에 참여할 의향이 높아질 것이다. 왜냐하면 직접 배터리를 소유하고 있을 때보다 고정 금액으로 임대하면 배터리 수명이나 신뢰성에 대해 걱정할 일이 줄어들기 때문이다.

라. V2G 활성화 방안

스마트그리드를 통해 전기자동차의 충전부하 관리 및 V2G가 가능하게 되면 전력수요가 높을 때 전기자동차의 여유 배터리 전력을 전력망에 보낼 수 있다. 이를 통해 전기자동차의 침투부하 증대 영향을 최소화할 수 있으며, 전력수급의 안정을 유지할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 전력시장 구조와 규제 프레임워크가 스마트그리드 기술의 실증과 상용화 촉진을 뒷받침할 수 있어야 한다. 특히, 가격제도와 계약조건의 유연성 확대를 통해 전기자동차 부하와 V2G 잠재력을 효율적으로 관리하는 인센티브를 확대해 나가야 한다. 경제적인 대안을 현실화하기 위해 규제는 변화하는 시장 상황, 기술, 소비자 행태 등에 대응하여 진화할 필요가 있다.

전기요금구조는 전기자동차의 충·방전 시간대에 강한 영향을 미치기 마련이다. 스마트그리드와 연계된 가격제도는 침투부하 시간대에 전기자동차 충전을 줄이고 침투부하 시간대 또는 계통운영 보조서비스가 요구될 때 V2G가 활성화되도록 해야 한다. 가장 적합한 가격 구조는 어떻게 소비자 행태가 변화하는지와 보급되는 스마트그리드 기술 형태에 따라 다를 것이다. 우선 전력수요가 많은 구간과 적은 구간으로 구분하고 차별적인 요금을 부과하는 계시별 요금제(TOU)는 기본적으로 도입할 필요가 있다.⁷⁰⁾ 나아가 실시간 요금제나 최대피크 요금차등제와 같은 다양한 변동요금제를 적용하는 방안을 검토해야 할 것이다.⁷¹⁾

70) 계시별 요금제란 미래 예측된 예상 수요에 따라 요금을 계시(계절, 시간)별로 구분하여 적용하는 요금제로서 보통 계절별(여름, 겨울)로 24시간을 3개 또는 4개 시간대(침투, 중간침투, 비침투, 때로는 극비침투)로 나눈다(스마트그리드용 어사전).

전기요금 구조의 변화와 함께 기술개발, 표준화, 보안시스템 구축, 제도개선 등의 노력도 중요하다. 제1차 지능형전력망기본계획(2012.6)에 따르면 우리나라는 2016년까지 전기차 보급계획과 연계하여 15만기의 전기자동차 충전기를 보급한다는 계획이다. 그리고 전기차를 이용한 신규 비즈니스 창출을 위해 전기자동차 통합 운영 및 연계 시스템 기술을 개발하고, 전기차를 발전자원 또는 수요자원으로 활용하기 위한 V2G 계통연계 및 운용 기술을 개발할 계획이다. 이와 함께 지능형 운송 영역의 상호운용성 확보를 위한 표준 개발 및 적합성 평가시스템 구축, 정보보안시스템 구축 등의 기반을 조성하고, 전기자동차 운행에 따른 도로법, 전기자동차 충전소 관련 건축법 및 안전규정 등 전기자동차 관련 법규 및 규정의 개선을 함께 추진할 계획이다. 이러한 계획이 성실히 이행될 수 있도록 정부의 의지를 바탕으로 한 정책 추진의 일관성이 유지되어야 할 것이다.

2. 연구 결과의 시사점 및 전력수급 안정 방안

최근 세계 자동차 시장에서 가장 중요한 이슈는 어떤 자동차가 온실가스 감축(에너지 소비 절약)과 대기오염물질 저감에 효과적이나 하는 것이다. 이는 각국의 연비 및 온실가스 배출 규제 강화 추세와 맞물려 있다. 주요국들이 전기자동차 기술개발과 시장 창출에 적극적으로 나서는 것은 전기자동차가 지속가능한 경제발전을 도울 수 있는 유력한 대안이 된다고 보기 때문이다. 이는 전기자동차의 ‘친환경성’,

71) 실시간 요금제는 도매시장의 가격변화를 실시간으로 반영하여 소매요금을 책정하는 방식을 가리키고, 최대피크 요금차등제는 구간별 요금제 하에서 전력수요가 많은 구간일지라도 첨두부하가 발생하는 한두 시간대에 훨씬 높은 요금을 책정하는 방식이다.

즉 전기차가 에너지 소비를 줄이고, 온실가스와 오염물질 배출을 획기적으로 줄일 수 있다는 점에 근거한다.

전기자동차(EV 및 PHEV)의 ‘WTW(well-to-wheel)’ 기준⁷²⁾ 환경적 영향은 배터리 충전에 사용되는 전기가 어떤 발전원으로부터 생산되는냐에 따라 결정된다. 예를 들어 석탄으로만 발전을 한다면, ‘WTW’ 기준 CO₂ 배출량은 일반적으로 비슷한 내연기관 자동차의 배출량보다 더 많거나 비슷할 것이며, 가스 복합발전소를 통해 생산한다면, 배출량은 현저하게 낮아질 것이다. 더 나아가서는 풍력, 태양광 또는 수력 등과 같은 신재생 에너지원으로만 전기를 생산한다면, 배출되는 CO₂는 ‘제로’가 된다. 즉, 온실가스(GHG)를 배출하지 않거나 배출량이 상대적으로 적은 발전 에너지원(원자력, 신재생에너지, 천연가스 등)을 이용하는 EV 및 PHEV를 대량으로 보급하게 되면, 석유 소비와 CO₂ 배출을 획기적으로 줄일 수 있을 것이다.

중국의 세 지역을 대상으로 전기자동차 보급전략을 연구한 Wu et al.(2012)는 전기자동차의 보급은 통상 석유 소비를 현저히 줄이고 온실가스 배출 감축에도 기여하지만⁷³⁾, 발전 에너지원 구성 여하에 따라서 온실가스 배출을 줄이지 못할 수도 있음을 지적하였다. 또한 석탄 발전의 비중이 높은 지역은 PHEV나 EV보다는 전력 수요 증가를 유발하지 않는 HEV가 오히려 훌륭한 온실가스 감축 대안이 될 수 있음을 밝혔다.

주요 선행연구들이 밝힌 것처럼, 본 연구 결과에 의하면 우리나라에

72) 이는 1차에너지원이 생산되어 자동차의 동력으로 전환되는 전 과정을 의미한다.

73) 제4장에서 소개한 IEA(2011)의 혁신 시나리오에 따르면, 2030년 한해에 EV 및 PHEV의 보급으로 세계적으로 약 5억 톤의 CO₂가 감축되며, 2050년에 약 5억 대의 EV(약 10억 톤)와 약 8억 대의 PHEV가 보급(15억 톤)되면, 연간 25억 톤의 CO₂가 줄어들 것으로 전망된다.

서도 전기자동차는 분명히 에너지수요 절감과 온실가스 감축에 기여할 수 있는 대안이 된다. 이는 2024년까지 ‘제5차 전력수급계획’에 따라 전원 구성이 이루어지고, 2024년 이후에는 본 연구에서 활용한 KEEI-EGMS 모형에 따라 ‘BAU’(Business as Usual)대로 전원 구성이 결정된다는 것을 전제로 한다. 이 경우, 2035년 원자력 발전량의 비중(2010년 31.2%)은 43.0%로 확대될 것으로 전망되어, 원자력이 최저부하(약 40% 수준)를 거의 담당할 수 있게 된다. 다시 말하면, 현 상황에서는 최저부하의 1/4을 석탄발전이 담당하여 전력 수요가 가장 낮은 밤 시간대에도 석탄발전소를 가동해야 하지만, 2035년경에는 원자력발전만으로도 최저부하의 대부분을 충족할 수 있다는 것이다. 따라서 전기자동차의 온실가스 배출 감축효과는 석유 소비 감소 이외에도 차량 충전의 대부분이 이루어질 것으로 예상되는 최저부하 시간대에 발전부문의 온실가스 배출이 최소화된다는 전망에 기인한다.

향후에 이 분야에 대한 심도 있는 연구가 지속되어야 하겠지만, Wu et al.(2012)이 밝힌 것처럼 우리나라도 전기자동차 보급을 통한 온실가스 감축효과가 크게 나타나지 않을 수도 있다. 정책 기조의 변화로, 기저발전의 상당부분을 차지하고 있는 원자력 발전의 역할이 현 수준보다 축소된다면, 석탄발전 의존도가 높은 우리나라는 전기자동차(EV, PHEV)가 온실가스 감축을 위한 유력한 대안이 되지 못할 수도 있다.

장기적으로 전기자동차가 청정 교통수단의 역할을 하기 위해서는 온실가스 배출이 없는 원전이나 신재생에너지를 통해 생산되는 전기 이용이 확대될 필요가 있다. 그런데 원자력 발전은 후쿠시마 사고 이후 촉발된 안전성 논란으로 추가 확대가 여의치 않은 상황이다. 따라

서 전기자동차 충전 시 신재생에너지의 활용도를 최대한 높이는 방안을 마련하는 것이 중요하다. 이러한 노력은 신재생에너지의 보급을 촉진하고 신재생에너지 발전비용도 축소하는 효과를 가져 올 것이다.

지금까지 신재생에너지를 통한 전기자동차 충전은 차량 충전 설비와 신재생에너지 발전설비가 인접해있는 장소에서만 가능하였다. 가령 집집마다 태양광 발전 설비를 갖추게 되면 전기자동차 충전 시 자신의 태양광 발전량을 활용할 수 있게 된다. 그러나 해상의 대용량 풍력단지나 사막의 태양광 발전단지의 전기 역시 전기자동차 충전용으로 활용하는 시대가 다가오고 있다. 미국을 중심으로 신재생에너지를 이용한 전기자동차 충전 기술 시범사업이 확대되고 있는데, 대표적으로 온스타(OnStar)와 구글(Google)의 ‘쉐보레 볼트(Chevrolet Volt) 충전 관리서비스’를 들 수 있다. OnStar는 세계 최대 도매시장인 ‘PJM Interconnection’으로부터 이용 가능한 재생에너지 발전 비율에 관한 신호를 받아 구글이 운영하는 쉐보레 볼트 차량(7대)의 충전을 관리한다. 즉, 재생에너지 발전 비율이 높을 때 충전이 이루어지도록 함으로써 화석연료 의존도를 최소화하는 방식이다. 또한 모바일 앱을 이용하여 재생에너지의 사용가능한 시간을 고객들에게 알릴 수도 있다. 이러한 시범사업은 가까운 미래에 전기자동차 이용자들이 각 가정에 신재생에너지 발전설비가 없어도 신재생에너지를 통해 생산한 전기를 사용할 수 있음을 시사한다(Greencarcongress, 2012)⁷⁴⁾.

한편 우리나라를 포함한 미국, 중국 등 주요국들의 전기자동차 보급은 계획대로 진행되지 못하는 것으로 판단된다. 이는 전기자동차가 갖고 있는 여러 가지 장애물에 근거한다. 즉 충전 인프라 부재, 배터리

74) <http://www.greencarcongress.com/2012/01/onstar-20120123.html>

기술(성능)의 한계, 긴 충전시간과 짧은 주행거리로 인한 불편함, 높은 자동차 가격, 소비자의 선택의 폭 제한 등 극복해야 할 많은 장벽들이 존재한다. 따라서 가까운 미래에 EV, PHEV 등 석유연료 소비를 대체할 전기자동차가 크게 보급되기는 어려울 것이다.

미국 시장에서 현재 판매되는 전기자동차를 살펴보면 2011년 9월 기준으로 191,541대의 하이브리드 차량이 판매되었고, 11,182대의 PHEV 및 EV가 판매되었다고 한다(Solar&Energy, 2011). 전체 전기자동차 판매량의 무려 94%를 하이브리드 차량이 차지하고 있다. 우리나라의 경우도 최근 하이브리드 차는 고유가 상황 지속에 힘입어 판매가 급속히 증가하는 추세이다.⁷⁵⁾ 충전이 필요 없기 때문에 기존 내연기관 승용차의 장점을 그대로 누릴 수 있는 데다, 소비자들이 HEV의 ‘고연비’에 매력을 느끼기 때문이다. 따라서 순수 전기자동차 시대로 이행해 가는 과정에서 상당 기간 동안 하이브리드 승용차가 에너지 소비 절약에 중요한 역할을 담당할 가능성이 높다.

이러한 상황은 주요 기관의 전기자동차 전망에서도 나타나고 있다. 순수 전기차와 플러그인 하이브리드차에 대한 낙관적인 보급 시나리오를 바탕으로 하는 IEA(2011)의 전망은 각국의 계획이 그대로 실현된다는 비현실적인 가정을 하고 있다. 반면 순수 전기차 시장만을 분석한 GlobalData(2012)는 EV 시장의 성장률이 그렇게 빠르지 않을 것으로 예측하고 있다.⁷⁶⁾ 또한, 비용 요소(차량가격 등)와 충전 인프라

75) 2012년 1~8월 기간 동안 2만 984대의 하이브리드 승용차가 판매되어, 전년 동기 대비 75%의 증가세를 보였다(한겨레신문, 2012.9.10.).

76) 순수 전기자동차에 대한 금전적, 비금전적 인센티브제도와 자금지원 프로그램 등 정부의 적극적인 정책 지원이 지속된다고 해도, 세계 EV시장은 2011~2020년 간 연평균 15%의 속도로 성장할 것이며, 정부 지원이 최소한의 수준일 경우에는 연평균 5%의 성장에 그칠 전망이다.

라, 배터리 성능 등 전기자동차 보급에 영향을 미치는 요인들을 고려하여 시장을 전망한 Solar&Energy(2011)는 2020년까지 판매되는 전기자동차의 상당 분을 하이브리드 차가 차지할 것으로 보고 있다.

이는 중·장기적으로는 배터리 등 순수 전기자동차 부품에 대한 기술개발을 지속 추진하되, 현실적인 대안인 하이브리드 차의 성능(배터리 기술) 향상에도 주력해야 한다는 것을 시사한다. 우리나라와 같이 전력 수급에 여유가 없는 환경에서는 전력 부하(특히, 피크 부하)에 영향을 미치지 않는 하이브리드차의 장점이 분명히 존재한다.

한편, 빠른 기술발전과 각국 정부의 지원정책으로 세계 시장이 플러그인 하이브리드차와 순수 전기차로 급속히 이행해 갈 경우를 대비해 전력 수급안정 방안을 강구해야 할 필요가 있다. 우리나라와 같이 발전설비를 여유 있게 운영할 수 없고, 전력을 수입할 수 없는 환경이라면, PHEV와 EV의 빠른 보급은 분명히 전력수급 안정을 저해하는 요인이 된다. 최근 빠른 전력수요의 증가로 인하여 매년 동·하계에 전력수급 안정을 최우선 과제로 다룰 수밖에 없는 우리나라의 경우에는 더욱 심각한 문제로 다가올 수 있다.

따라서 전기자동차 보급 촉진과 함께 장기적인 수급 안정 방안도 함께 마련해 나가야 한다. 우선 전기자동차 충전이 피크 부하시간대에 몰리지 않도록 하는 것이 중요하다. 즉, 자동차용 전력 소비의 피크부하 기여도를 억제해야 한다. 이에 대한 좋은 대안은 ‘배터리 교환 시스템’을 발전시키는 것이다. 즉 오프 피크 시간대에 배터리를 충전해 두었다가 마치 주유소에서 주유를 하듯이 배터리를 교환해 주는 비즈니스 모델을 개발할 필요가 있다.

보다 장기적인 해결책은 스마트그리드 시스템으로 이행하는 것이 될 수 있다. 이를 통해 운행하고 있지 않는 전기자동차를 피크시간 대

에는 전기 공급원으로 활용하여(V2G, Vehicle to Grid) 예비전력을 확보하는 방안이다. 본 연구 결과에 따르면 ‘V2G’는 전력수급 안정을 위한 장기적인 대안이 될 수 있다. 정부의 전기자동차 지원정책과 빠른 기술개발로 전기자동차가 빠르게 보급될 경우(보급 시나리오Ⅱ), V2G 기술을 적극 활용한다면 전기자동차로 인해 증가하는 첨두부하 상승분은 2035년 기준으로 4.1GW에 머물 것으로 추정된다. 이는 스마트그리드 활용 전 첨두부하 증가량(13.9GW)에 비해 약 10GW 낮은 것이다. 또한 스마트그리드를 이용한 피크부하 감축을 위해서는 에너지저장시스템(Energy Storage System: ESS)을 적극 활용할 필요가 있다. ‘ESS’는 전력을 저장해 두었다가 전력이 부족할 때 전력망으로 송전해 주는 전기저장장치를 말한다.

한편, 획기적인 기술개발로 전기자동차 시장을 선도하는 것이 최선의 방법이겠지만, 현실적으로 이 부문에 대한 국제협력을 강화해 나갈 필요가 있다. 일본, 미국 등 우리나라보다 전기자동차 부문에서 기술적으로 앞서 있는 국가들과 서로의 장점을 공유함으로써 시너지 효과를 발생시킬 필요가 있다. 우선 전기차 개발·보급의 핵심 요소인 배터리 성능 향상 및 가격 하락, 충전 인프라 확충 등을 확보하기 위해서는 세계 최대 자동차시장인 미국과의 기술 협력이 필요하다. 우리나라의 자동차용 이차전지 기술과 미국의 전력망 부하관리 기술(V2G) 등 양국의 선도적 기술 분야 간 교류·협력이 중요하다.

주요 협력 가능 분야를 살펴보면, 우선 배터리 기술 및 충전설비 성능 향상이다. 리튬이온전지(LG화학 등), 충전시스템(효성)의 성능 향상을 위한 공동 투자 등 기술개발 협력사업을 발굴할 필요가 있다. 미국 자동차업체 ‘Tesla’와 일본 ‘Panasonic’은 이미 2010년에 배터리 개발 협력을 시작한 바 있다.

또한 스마트그리드와 연계한 양국의 ‘전기차 운영시스템’ 실증사업을 공동으로 추진하는 방안이 있을 수 있다. 즉, 이 분야에서 앞서 있는 미국과 스마트그리드를 통한 전력망 부하 안정화 및 충전시스템 최적화 실증사업을 공동으로 시행하는 것이다. 이를 통해 전기자동차가 전력망에 미치는 영향 평가, 전력망과 전기차 간 ‘communication 시스템’(또는 Smart Charging) 성능 향상 및 표준화를 도모할 필요가 있다. 이 분야에서는 미국 전력회사인 GE와 일본의 자동차업체인 닛산 간의 협력사례가 있다(2010년 4월). 가장 최근인 2012년 8월에는 미국 스마트그리드 관련업체인 ‘Duke’와 일본의 도요타가 협력 사업을 추진하고 있다.

제6장 결론

친환경자동차, 특히 전기자동차는 더 이상 선택의 문제가 아니라, 국제 경제 환경과 자동차산업의 판도를 바꾸어 놓을 수 있는 핵심 기술이 되었다. 뿐만 아니라 효과적인 글로벌 온실가스 감축수단이자, 지속가능한 환경을 위한 필수적인 대안으로 떠오르고 있다. 전기자동차의 시대는 ‘언제?’가 문제일 뿐이지 조만간 도래할 것이다. 미국, EU, 일본, 중국 등 세계 주요 국가들은 전기자동차 구매 보조금 지원, 세제 혜택 등의 금전적인 인센티브뿐만 아니라 주차 및 충전 편의성 부여, 차량 운행 관련 인센티브 제공 등 각종 지원책을 시행하고 있거나 도입할 예정이다. 주요국들은 자국의 법·제도 및 경제 환경에 따라 차이는 있지만, 전기자동차 기술개발과 시장 창출을 위해 적극적인 행보를 보이고 있다.

본 연구에서 전기자동차는 전기 배터리와 전기모터를 사용하여 구동하는 자동차를 통칭한다. 전기자동차도 배터리 및 모터의 역할 또는 전기를 이용하는 구동 방식에 따라 순수 전기자동차(Electric Vehicle: EV), 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV), 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle: HEV) 등으로 구분할 수 있다.

국내 시장에 전기자동차의 보급이 확대될 경우, 국가 에너지 수급 및 온실가스 배출량에는 변화가 발생하게 된다. 전기자동차의 기술별 보급 상황에 따라 에너지수급 및 온실가스 배출에 미치는 영향은 다르게 나타난다. 보급 초기단계에 배터리 충전이 필요 없는 하이브리드 차의 보급이 확대될 경우, 추가적인 전력 수요 증가 없이 휘발유·경

유 등의 소비 감소가 예상된다. 그러나 전력망으로부터 전기를 충전해야 하는 플러그인 하이브리드차 및 순수 전기차 보급이 늘게 되면 수송연료 수요는 더욱 감소하게 되지만, 전력 소비 증가에 따라 발전용 에너지 수요는 증가할 것이다. 따라서 전기자동차의 수급 영향은 1차 에너지 수요 기준으로 평가하여야 한다. 발전부문의 전원 구성이 온실가스를 많이 배출하는 석탄 중심으로 이루어져 있고, 발전 효율도 매우 낮은 수준이라면, 전기자동차의 높은 에너지 효율성에도 불구하고 1차에너지 소비와 온실가스 배출은 오히려 늘어날 가능성도 존재하기 때문이다.

본 연구에서는 전기자동차 보급이 우리나라 에너지 수급과 온실가스 배출에 미치는 영향을 평가하였다. 정부의 정책 추진 및 기술발전 속도에 따른 전기자동차 보급 예측을 통해 우리나라의 에너지수급 및 온실가스 배출 구조의 변화를 전망하고, 전력 수급의 안정성을 평가해 보았다. 전기자동차가 에너지수급과 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 전기자동차가 시장에 어느 정도나 보급될 것인지를 예측할 필요가 있다. 본 연구는 주요 선행연구들과 같이 단순히 전기차의 시장 점유율을 가정하는 방식을 채택하지 않고, 계량경제학적인 분석 방법을 적용하여 전기자동차의 종류별, 차급별 판매 점유율을 예측하였다. 전기자동차, 특히 배터리와 모터로만 구동되는 순수 전기차는 내연기관 자동차와 같이 엔진 배기량 기준으로 차급이 구분되지 않지만, 향후 다양한 배터리 용량을 가진 모델들이 개발된다고 볼 때, 다양한 차급에서 기존 내연기관 승용차를 대체하게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 분석 결과의 신뢰성을 높이기 위해 차급별로 전기자동차의 판매 점유율을 예측하였다. 이 점은 선행 연구들과 차별화되는

부분 중의 하나이다.

승용차 시장에 대한 전망은 KEEI-EGMS(KEEI Energy & Greenhouse Gas Modeling System)의 수송부문 모형을 개선하여 수행하였다. 모든 전기자동차 종류를 반영하고, 차급별 차량 대체가 가능하도록 승용차 분류를 연료별, 기술별, 차급별로 확장하였다. 승용차 시장 전망은 세 가지 시나리오에 대해서 수행하였다. 첫 번째는 기준안으로서 EV, PHEV 등 충전을 필요로 하는 전기자동차 및 관련된 충전 인프라가 정부의 노력에도 불구하고 현 수준에서 더 이상 보급되지 않는 시나리오이다. 즉, 기준안에서는 하이브리드 승용차를 제외한 전기자동차의 본격적인 상용화가 이루어지지 않는 상황을 가정하였다. 두 번째는 모든 전기자동차가 곧 상용화되어 시장에 보급되는 안으로, 정책 및 시장 환경에 따라 다시 두 가지 시나리오로 구분하였다. 보급안Ⅰ은 전기자동차 기술발전이 이루어지고, 충전 인프라 확충도 진행되나, 세제지원 등 민간부문에 대한 정부의 지원이 없는 경우를 가정하였다. 보급안Ⅱ는 민간부문에 대한 정부의 세제지원이 지속되고, 기술개발이 빠르게 진행되어 전기자동차용 배터리 가격이 현재 수준 대비 2035년에 50% 하락하며, 충전시간도 1시간에서 30분으로 단축되는 안이다. 시나리오별 총 승용차 등록대수 전망과 기술·연료·차급별 신규 승용차 수요비중 예측 결과를 이용하여 모든 승용차 종류에 대한 신규 등록대수와 총 등록대수를 도출하였다.

2035년의 신규 등록대수 전망 결과, 시나리오Ⅱ에서는 휘발유 승용차가 15만 9천 대 정도 판매될 것으로 예상되어 가장 수요가 낮을 것으로 예상되었다(판매점유율 13.9%). 대신 순수 전기자동차의 수요가 급증하여 27만 7천 대의 수요가 발생할 것으로 예상되었는데, 이는

2035년 전체 자동차 내수 규모(가스·기타차량 제외)의 24.3%에 해당한다. 다음으로 플러그인 하이브리드 자동차(22.9%)와 하이브리드 자동차(21.0%), 경유승용차(18.0%)가 뒤를 이을 것으로 전망되었다. 시나리오Ⅱ에서의 전기자동차 총 등록대수는 700만 대 수준으로 전망되었다. 시나리오Ⅱ의 총 보급(등록)대수를 보면, 전통적인 내연기관 승용차의 보유 비율은 2010년에 절대적인 수준인 99.8%에서 2035년에는 67.0%까지 하락할 것으로 예상된다. 순수 전기자동차는 2035년에 11.7%, 플러그인 하이브리드 자동차는 11.0%, 하이브리드차는 10.6%를 점유하여 세 종류의 전기차가 엇비슷한 보급률을 기록할 전망이다. 경유승용차는 클린디젤차의 높은 연비에 대한 매력으로 인해 보유 비율이 2010년 21.2%에서 2035년 20.9%로 큰 변화는 없을 것으로 전망되었다.

전기자동차에 대한 수요는 기술개발 속도뿐만 아니라 정부의 정책이 핵심 변수이기 때문에, 정부의 수송부문 온실가스 및 에너지 수요 감축 의지가 향후 전기자동차의 수요를 결정하는 데 매우 중요한 요인이 될 것이다.

전기자동차 보급이 시나리오Ⅱ의 상황으로 전개될 경우 에너지소비에 미치는 영향을 살펴보면, 최종에너지 수요는 2035년에 기준안 대비 1.4% 감소할 전망이다. 최종에너지 수요 감소분은 전량 수송부문에서 발생하게 되는데, 2035년에 기준안 대비 총 8.8%의 수송에너지(석유류) 수요가 줄어들 것으로 전망되었다. 최종에너지원별로는 석유가 2035년에 기준안 수요보다 4.3% 감소하는 대신 전력이 1.5% 증가할 것으로 분석되었다. 2035년에 신재생에너지도 기준안 대비 0.7% 줄어드는 이유는 경유 수요 감소에 따라 경유에 일부 포함되어 있는

바이오디젤이 같은 비율로 줄어들기 때문이다.

1차에너지 기준으로 보면, 친환경차 보급 시나리오Ⅱ에서 2035년에 기준안 대비 0.4%의 에너지 절약 효과(136만 TOE)가 발생할 것으로 예상되었다. 에너지수요 절감률이 최종에너지 기준 보다 작게 나타나는 이유는 전력 수요 증가로 인해 에너지전환 손실량이 늘어나기 때문이다. 1차에너지 원별로 보면, 2035년에 석유가 4.2% 감소하는 반면, 기저발전원인 원자력과 석탄의 수요는 기준안 대비 각각 3.2%, 1.7% 증가할 것으로 전망되었다. 이는 전기자동차 보급에 따른 최대 전력 수요 증가로 2035년에 기준안에서보다 원자력과 유연탄 설비가 더 필요하다는 것을 의미한다.

전기자동차가 보급되면, 에너지연소로 인한 우리나라 온실가스 배출도 예상대로 줄어들 전망이다. 2035년 기준으로 기준안 대비 약 1.1%의 온실가스 배출 감축효과가 있을 것으로 전망되었다. 온실가스 저감효과는 1차에너지 수요 절감률(0.4%)보다는 크게 나타날 것이다. 이는 상대적으로 온실가스를 많이 배출하는 석유 수요가 크게 줄어 들고, 온실가스 배출이 없는 원자력 발전량은 증가하기 때문이다. 만약, 우리나라의 전원 계획이 원자력의 역할을 일정 수준으로 유지하면서 천연가스와 신재생에너지의 이용을 높이는 온실가스 저 배출형으로 진행된다면, 전기자동차 보급을 활성화하면 할수록 온실가스 배출효과는 더 크게 나타날 것으로 예상된다.

분석 결과, 예상한 대로 전기가 석유를 대체함에 따라 수송부문에서는 석유 수요가 크게 줄어들며, 발전부문에서는 전력 수요 증가로 1차 에너지 투입이 늘어나는 결과가 나타났다. 정부의 전기자동차 보급 정책이 지속되고, 배터리 기술발전이 빠르게 진행된다고 가정했을 때,

2035년 기준으로 우리나라의 석유의존도는 전기자동차가 상용화되지 않았을 경우(29.2%)보다 1.1%p 낮은 28.1%로 줄어들 전망이다. 그러나 전기자동차 보급 확대에 따라 전력수급 안정은 더욱 중요해질 것이다. 본 연구에 의하면, 기준안보다 전력 수요(판매)량은 크게 증가하지 않으나(1.5%), 전력수급에 중요한 최대 전력수요는 크게 증가할 전망이다. 시나리오Ⅱ의 분석 결과에 따르면, 스마트그리드 활용이 이루어지지 않을 때, 전기자동차로 인한 첨두부하 증가량은 2035년 기준으로 13.9GW에 달할 전망이다. 이는 1GW급 원자력발전소 14기에 해당하는 용량 규모이다.

따라서 전기자동차 충전수요가 여름철 및 겨울철 최대부하 시간대에 집중되지 않도록 분산하는 정책이 중요하다. 이에 대한 방안으로는 ‘배터리 교환사업’을 활성화하는 방법이 있을 수 있다. 즉, 전력수요가 낮은 시간대에 배터리를 충전해 두었다가 마치 주유소에서 주유를 하듯이 배터리를 교환해 주는 비즈니스 모델을 개발할 필요가 있다. 보다 장기적으로는 스마트그리드를 통해 전력 수급을 관리할 필요가 있다. 스마트그리드가 적극적으로 활용된다면⁷⁷⁾, 시나리오Ⅱ의 경우에도 2035년 첨두부하 증가량은 4.1GW에 머물 것이다. 이는 스마트그리드 활용 전 첨두부하 증가량보다 약 10GW 낮은 것으로, 1GW급 원자력발전소 10기를 대체할 수 있는 용량이다. 또한 스마트그리드의 핵심 요소인 에너지저장시스템(ESS)을 적극 활용한다면 첨두부하를 더욱 줄일 수 있을 것이다.

주요 선행연구에서 제시된 것과 같이, 본 연구 결과도 우리나라의 전기자동차 보급은 분명히 에너지수요 절감과 온실가스 감축에 기여

77) 즉, 첨두부하 시간대의 G2V 비중이 20%로 축소되고, V2G는 15%로 확대된다는 가정이다.

할 수 있는 대안이 될 수 있다. Wu et al.(2012)가 밝힌 것처럼 ‘전원 구성 정책’의 향방에 따라 우리나라도 전기자동차 보급을 통한 온실가스 배출 감축이 어렵게 될 수도 있다. 일본 후쿠시마 원전 사태의 영향으로 우리나라 발전원의 상당부분을 차지하고 있는 원자력 발전의 역할이 크게 축소된다면, 유연탄발전 의존도가 높고 신재생에너지 발전 비중이 낮은 우리나라에서는 EV, PHEV 등 전기자동차가 온실가스 감축을 위한 유력한 대안이 아닐 수도 있다.

한편 우리나라를 포함한 미국, 중국 등 주요국들의 전기자동차 정책 추진상황을 진단해 보면, 전기차 보급은 현재 계획대로 진행되고 있지 않은 것으로 판단된다. 이는 충전 인프라 부재, 배터리 기술(성능)의 한계, 긴 충전시간과 짧은 주행거리로 인한 불편함, 높은 자동차 가격, 소비자 선택의 폭 제한 등 전기자동차가 갖고 있는 여러 가지 제약요인에 근거한다. 따라서 가까운 미래에 EV, PHEV 등 석유연료 소비를 대체할 전기자동차가 대량으로 보급되기는 어려울 것이다. 미국 시장에서 현재 판매되는 전기자동차를 살펴보면 2011년 9월 기준으로 전체 판매량의 94%가 하이브리드 차량이라고 하며, 우리나라에서도 고유가 상황 지속에 힘입어 하이브리드 자동차의 판매가 급속히 증가하는 추세이다. 이는 고유가 시대에 하이브리드 차의 ‘고연비’는 부각되는 데 반해, 충전에 대한 불편함이 없어 소비자들이 기존 내연기관 승용차의 장점을 그대로 누릴 수 있기 때문이다. 따라서 순수 전기자동차로 이행해가는 과정에서 상당 기간 하이브리드 승용차가 중요한 역할을 담당할 가능성이 크다. 이러한 전망은 Solar&Energy(2011) 및 GlobalData(2012)의 전기자동차 시장 예측 결과에서도 드러나고 있다.

이는 중장기적으로는 순수 전기자동차 및 배터리 기술개발을 지속

추진하되, 현실적인 대안인 하이브리드 차의 성능(배터리 기술) 향상에도 주력해야 한다는 것을 시사한다. 우리나라와 같이 전력 수급에 여유가 없는 환경에서는 전력 부하(특히, 피크 부하)에 영향을 미치지 않는 하이브리드차의 장점은 분명히 존재한다.

다른 한편으로는, 빠른 기술발전과 각국 정부의 지원정책으로 세계 시장이 플러그인 하이브리드차와 순수 전기차로 급속히 이행될 경우를 대비하여 전력 수급안정 방안을 강구해야 할 필요가 있다. 우리나라와 같이 발전설비를 여유 있게 건설할 수 없고, 전력을 수입할 수 없는 환경이라면, PHEV와 EV의 빠른 보급은 분명히 전력수급 안정에 부정적인 영향을 줄 수밖에 없다. 이는 전력수요의 급증으로 매년 동·하계 전력수급 안정을 최우선 과제로 다룰 수밖에 없는 우리나라의 경우 더욱 심각한 문제로 다가올 수 있다. 따라서 전기자동차 보급 촉진과 함께 장기적인 수급 안정방안도 함께 마련해 나가야 한다. 이에 대한 대안은 ‘배터리 교환’ 비즈니스 활성화, 스마트그리드를 통한 전력부하 관리⁷⁸⁾ 등이 될 것이다.

또한 전기자동차 부문에 대한 국제협력을 강화해 나가야 한다. 일본, 미국 등 우리나라보다 전기자동차 부문에서 기술적으로 앞서 있는 국가들과 긴밀히 협력하여 서로의 장점을 공유하는 것이 에너지수급 안정과 전 세계의 온실가스 감축이라는 시너지 효과를 발생시킬 수 있는 지름길이다.

78) 지능형 요금제도 등을 통한 첨두부하 시간대 충전비용 감축, ‘V2G’ 사업 활성화 등이 있다.

참고문헌

<국내 문헌>

- 교통안전공단, 「2010년도 자동차 주행거리 실태조사」, 2011. 12.
- 관계부처 합동, 「세계 4강 도약을 위한 그린카 산업 발전전략 및 과제」, 2010. 12.
- 김석곤, “스마트 미터링 기술 및 시장동향”, Special Feature - Smart Grid Technology, 「EP&C」, 2011.11.
- 대한무역투자진흥공사, 「일본 차세대 자동차전략」, Kotra Executive Brief 10-010, 2010.
- 박훈 · 주대영 · 김경유 · 최용재 · 박광순, 「녹색성장을 위한 친환경 부품소재 육성 전략」, 산업연구원 연구보고서 제556호, 2009.
- 에너지경제연구원, 「2011 장기 에너지전망」, 2011.
- 에너지경제연구원, 에너지정보통계센터 출연사업 기반강화사업 10-03, 「장기 에너지수요전망모형 개선 연구(3차년도): 전환부문」, 2010.12.
- 원두환, 전기동력 자동차의 시장점유율 예측에 관한 연구(에너지경제연구원 위탁연구보고서), 2012.9.
- 이종수 · 조영상 · 이정동, “시장규제를 고려한 대체연료 자동차의 수요예측에 관한 연구”, 「경제학연구」 제52집 제2호, 2004.
- 전국경제인연합회, “자동차산업의 미래: 그린카 현황 및 전망”, 「FKI 전략산업리포트」, 2009.

전력거래소, 「전기자동차 보급에 따른 전력수급 영향 및 시사점」,
2009. 11.

정부부처 합동, 그린카 산업발전대책 이행점검결과 및 향후대책(보도
자료), 2011.9.7.

지식경제부·에너지경제연구원, 「2011년도 에너지총조사 보고서」, 2012.

지식경제부·에너지경제연구원, 「에너지통계연보」, 2011.

지식경제부·에너지경제연구원, 「에너지통계월보」 각 월호.

지식경제부·에너지관리공단, 「2011 자동차 에너지소비효율 분석집」,
2012. 7.

지식경제부·에너지관리공단, 「2010 자동차 에너지소비효율등급 분석」,
2011. 5.

지식경제부·한국에너지기술평가원, 「그린에너지 전략 로드맵 2011:
그린카」, 2011. 5.

지식경제부·환경부·국토해양부·녹색성장위원회, 범정부 차원의 첫
그린카 발전 로드맵 발표(보도자료), 2010.12.6.

최도영, 「자동차 연비 및 온실가스 규제방안 연구」, 에너지경제연구원
기본연구보고서 10-35, 2010.

최도영·이상열, 「친환경·고효율 자동차 보급정책 평가」, 에너지경
제연구원 기본연구보고서 11-13, 2011.

한국수출입은행, 「전기자동차 시장 현황 및 전망」, 2011.12.5.

한국자동차산업협회, 「2012 한국의 자동차 산업」, 2012.

황상규·박상준·박용일, 「친환경·에너지 절감형 자동차의 이용활성
화 방안」, 한국교통연구원 연구총서 2008-08, 2008.

KDB 산업은행, 산업기술 이슈(국내 전기자동차 기술 경쟁력 분석), 2012.

Solar&Energy, 전세계 전기자동차 시장(HEV/PHEV/BEV) 요인 분석
및 시장수요전망(2010-2020), 2012.

<국외 문헌>

Adamowicz, W., J. Louviere and J. Swait, Introduction to Attribute-based
Stated Choice Methods, Reports to the National Oceanic and
Atmospheric Administration(NOAA), Purchase Order 43AANC601388
Advanis, Alberta, Canada, 1998.

Adamowicz, W., J. Louviere and M. Williams, 1994, “Combining
Revealed and Stated Preference Methods for Valuing Environmental
Amenities”, Journal of Environmental Economics and Management
26, 271~292.

Ahn, J., G. Jeong, and Y. Kim, 2008, “A Forecast of Household
Ownership and Use of Alternative Fuel Vehicles: A Multiple Discrete-
continuous Choice Approach”, Energy Economics 30, 2091~2104.

Beggs, S., S. Cardell, and J. Hausman, 1981, Assessing the Potential
demand for Electric Car. Journal of Econometrics, 16, 1~19.

BNEF(Bloomberg New Energy Finance), EV infrastructure eposition?,
Insight, 2012.4.27.

Bolduc, D., 1999, A Practical Technique to Estimate Multinomial Probit
Models in Transportation, Transportation Research Part B, 33, 63~79.

Brownstone, D., and K. Train, 1999, “Forecasting New Product Penetration
with Flexible Substitution Patterns”, Journal of Econometrics 89,
109~129.

- Brownstone, D., D. S. Bunch, T. F. Golob, and Weiping Ren, 1996, “A Transactions Choice Model for Forecasting Demand for Alternative-Fuel Vehicles”, *Research in Transportation Economics* Vol. 4, 87~129.
- Cameron, A. C and P. K. Trivedi, *Microeconometrics using Stata*, Revised ed., Stata Press, 2010.
- CE Delft, *Green Power for Electric Cars: Development of Policy Recommendations to Harvest the Potential of Electric Vehicles*, 2010.
- Diamond, D., 2009, “The Impact of Government Incentives for Hybrid-electric Vehicles: Evidence from US states”, *Energy Policy*, 37, 972~983.
- Economist Intelligence Unit, *A Target too Far?: China's Ambitions for Electric Vehicle Development*, May 2011.
- Egbue, O. and S. Long, 2012, “Barriers to Widespread Adoption of Electric Vehicles: An Analysis of Consumer Attitudes and Perceptions”, *Energy Policy*, 48, 717~729.
- Freeman III, A. M., *The Measurement of Environment and Resource Values: Theory and Methods*, 2nd ed., Washington D.C., Resource for the Future, 2003.
- GlobalData, *Battery Electric Vehicles: Market Analysis, Competitive Landscape and Forecasts to 2020.*, Aug. 2012.
- Greene, W. H., *Econometric Analysis*, 6th ed., Pearson Education International, 2008.

- Greene, W. H., *Econometric Analysis*, 5th ed., Prentice-Hall. USA, 2002.
- Greenwood, P. E. and M. S. Nikulin., *A Guide to Chi-Squared Testing*. J.Wiley, New York.
- Hensher, D., 1982, Functional Measurement, Individual Preference, and Discrete Choice Modeling: Theory and Application, *Journal of Econometrics Psychology* 2, 323~335.
- IEA, *Impact of Smart Grid Technologies on Peak Load to 2050*, 2011.8
- IEA, *Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles*, 2011.
- ITF(International Transport Forum), *Smart Grids and Electric Vehicles: Made for Each Other?*, 2012.
- Janes, J., 2001, Categorical Relationships: Chi-square. *Library Hi Tech* 19(3), 296~298.
- Kempton, W. and J. Tomic, 2005, Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue, *Journal of Power Sources*.
- Kurani, K., T. Turrentine, and D. Sperling, 1994, Demand for electric vehicles in hybrid households: an exploratory analysis, *Trans. Policy* 1, 244~256.
- Lee, J., and Y. Cho, 2009, Demand Forecasting of Diesel Passenger Car Considering Consumer Preference and Government Regulation in South Korea, *Transportation Research Part A*, 43, 420~429.
- Louvier, J., D. Hensher, J. Swait. *Stated Choice Methods: Analysis and Application*, Cambridge University Press, 2000.
- McCarthy, P., and R. Tay, 1998, *New Vehicle Consumption and Fuel*

- Efficiency: A Nested Logit Approach, *Transportation Research Part E* 34, 39~51.
- McFadden, D. L., "Modelling the Choice of Residential Location," in *Spatial Interaction Theory and Residential Location*, ed. A. Karlqvist. Amsterdam: North Holland, pp.75-96, 1978.
- MDB Capital Group, *The Green Car Report, Investment Analysis of the Hybrid & Electric Vehicle Industry: Outlook for 2009~2012*, 2008, 11.
- Miguel, S. A., M. Ryan, and E. McIntosh, 2000, *Applying Conjoint Analysis in Econometrics Evaluation: an Application to Menorrhagia*, *Applied Economics*, 32, 823~833.
- Phelps, R. H. and J. Shanteau, 1978, "Livestock judges: How much information can an expert use?", *Organizational Behavior and Human Performance* 21, 209~219.
- Pike Research, *Vehicle to Grid Technologies*, 2011.
- Potoglou, D., and P. S. Kanaroglou, 2007, "Household Demand and Willingness to Pay for Clean Vehicles", *Transportation Research Part D* 12, 264~274.
- Roe, B., Boyle, K.J., and M. Teisl, 1996, *Using Conjoint Analysis to Derive Estimates of Compensating Variation*, *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, 145~159.
- RWTH(Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen), *Grid for Vehicles*, 2010.
- Tranin K., 1986, *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics and*

an Application to Automobile Demand, MIT Press, London.

Wu, Y., Z. Yang, B. Lin, H. Liu, R. Wang, B. Zhou and J. Hao, 2012, “Energy Consumption and CO₂ Emission Impacts of Vehicle Electrification in Three Developed Regions of China”, *Energy Policy*, 48, 537~550.

Yabe, K., Y. Shinoda, T. Seki, H. Tanaka and A. Akisawa, 2012, “Market Penetration Speed and Effects on CO₂ Reduction of Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Electric Vehicles in Japan”, *Energy Policy*, 48, 529~540.

Zhang, Y., Y. Yu and B. Zou, 2011, “Analyzing Public Awareness and Acceptance of Alternative Fuel Vehicles in China: The Case of EV”, *Energy Policy*, 39, 7015~7024.

최 도 영

現 에너지경제연구원 연구위원
<주요저서 및 논문>

『친환경·고효율 자동차 보급정책 평가』, 에너지경제연구원, 2011.
『자동차 연비 및 온실가스 규제방안 연구』, 에너지경제연구원, 2010.

박 찬 국

現 에너지경제연구원 전문연구원
<주요저서 및 논문>

『스마트그리드 시범사업 성과 평가기준 설정 연구』, 에너지경제연구원, 2011(공저).

김 수 일

現 에너지경제연구원 연구위원
<주요저서 및 논문>

『2011 장기 에너지전망』, 에너지경제연구원, 2011(공저).

기본연구보고서 2012-01

전기자동차 보급의 에너지수급 영향 분석

2012년 11월 29일 인쇄

2012년 11월 30일 발행

저 자 최도영 · 박찬국 · 김수일

발행처 에너지경제연구원

437-713 경기도 의왕시 내손순환로 132

전화: (031)420-2114(대) 팩시밀리 : (031)422-4958

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 범 신 사 (02)503-8737

© 에너지경제연구원 2012 ISBN 978-89-5504-371-6

* 파본은 교환해 드립니다.

값 7,000원