

성장모형을 활용한 전기자동차 보급과 전력수요 예측

Prediction of the Electric Vehicles Supply and Electricity Demand Using Growth Models

한 효 승* · 윤 일 수**

* 주저자 : 도로교통공단 정책연구처 연구원 및 아주대학교 교통공학과 박사과정

** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Hyo Seung Han* · Ilsoo Yun**

* Traffic Policy Research Division, Road Traffic Authority & Dept. of Transportation Eng., Ajou University

** Dept. of Transportation System Eng., Ajou University

† Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol. 22 No.4(2023)
August, 2023
pp.132~144

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.4.132>

Received 19 May 2023
Revised 6 June 2023
Accepted 31 July 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

유럽과 미국을 중심으로 내연기관 자동차에서 나오는 배기가스를 줄이기 위해 친환경 자동차를 적극적으로 보급하는 정책이 펼쳐지고 있다. 우리나라에서도 ‘제4차 친환경자동차 기본계획’을 통해 충전인프라 개선과 인센티브제도 확대로 2025년 113만대의 친환경 자동차 보급을 목표로 하고 있어 전기자동차의 급격한 성장이 예상된다. 따라서 대략적이지만 구체적인 성장 규모와 그에 따른 전력수요량을 도출하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 성장모형 중 향후 전기자동차의 보급대수를 잘 설명할 수 있는 모형을 활용하여 전기자동차의 대수를 예측하였다. 그리고 선행연구에서 제시한 전기에너지 산출모형을 활용하여 「제10차 전력수급기본계획」의 목표연도인 2036년까지 전기자동차의 보급대수와 전력수요량을 제시하였다. 본 연구 결과를 토대로 향후 전기자동차 인프라 계획·구축을 위한 기초 연구자료로 활용될 것을 기대된다.

핵심어 : 전기자동차, 성장모형, 전력량 예측, 친환경, 탄소배출 저감

ABSTRACT

European and American countries are actively promoting eco-friendly cars to reduce exhaust emissions from internal combustion engines. In Korea, the “4th Basic Plan for Eco-Friendly Vehicles” aims to promote eco-friendly cars by improving charging infrastructure, expanding incentive systems, and targeting the supply of 1.13 million eco-friendly cars by 2025. As rapid growth in the number of electric vehicles sold is expected, estimates are required of this growth and corresponding power demands. In this study, the authors used a growth model to predict future growth in the electric vehicle market and a previously derived electricity generation model to estimate corresponding power demands up to 2036, the target year of the “10th Basic Plan for Power Supply and Demand”. The results obtained provide useful basic research data for future electric vehicle infrastructure planning.

Key words : Electric Vehicles, Growth Model, Electricity Demand Prediction, Eco-friendly, Carbon Emission Reduction

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

전기자동차(Electric vehicles, EV)는 차량 추진을 목적으로 전기 모터와 전기 에너지 공급 시스템을 갖춘 차량이다(Eisenmann et al., 2021). 19세기 후반 최초의 전기자동차가 구현된 이후, 20세기 초반까지 단거리 이동에 주로 사용되며 내연기관 자동차보다 높은 점유율을 기록하였으나, 장거리 주행이 가능한 내연기관 자동차 등장과 대규모 유전의 발견으로 운영비 효율화로 인해 전기자동차가 쇠퇴하게 되었다(Guarnieri, 2012). 그러나 내연기관 자동차가 주 동력원으로 사용하는 화석연료는 자원의 양이 한정적일 뿐만 아니라 연소되면서 발생하는 온실가스로 인해 지구온난화와 대기오염이 일어나는 문제를 안고 있다. 이에 전 세계적으로 운송·교통분야의 탄소배출을 줄이기 위해 국제적인 연비 및 배출가스 규약을 강화하고 있는 추세이며 기존 내연기관 자동차를 친환경 자동차로 대체하기 위해 노력하고 있다(Lee and Park, 2019).

특히 유럽과 미국을 중심으로 내연기관 자동차의 판매를 제한하고 친환경 자동차를 보급하는 정책을 펴고 있다. 유럽연합(European Union, EU)에서는 대기질을 개선하고, 시민들의 건강과 환경 보호를 목적으로 내연기관 자동차에서 배출되는 오염물질에 대한 추가적인 규제를 포함하여 타이어와 브레이크 등에서 발생하는 배출물에 대한 규제, 전기 및 하이브리드 차량에 대한 배터리 요구사항을 개정하였으며, 2035년까지 배출가스가 없는 자동차(승용차 및 승합차)를 100% 출고하는 것을 목표로 삼고 있다(EU, 2022). 미국 캘리포니아 주에서도 2020년부터 단계적으로 내연기관 자동차의 비중을 줄이고, 2035년부터는 신규 내연기관 자동차의 판매를 완전히 중지하는 정책을 통과시킨 바 있다(Yunhapnewstv, 2023). 우리나라에서도 국제적인 추세를 반영하여 탄소중립을 구현할 수 있도록 전기자동차에 대한 인프라 개선과 인센티브 제도를 확대하여 2025년 113만대 보급을 목표로 하고 있다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2021).

본 연구에서는 우리나라 전기자동차의 보급이 본격적으로 이루어지고 있음에 따라 과거 전기자동차의 등록대수를 토대로 보급대수를 전망하고 전력수요를 도출하고자 한다. 이에 대표적인 성장모형인 로지스틱 모형(logistic model)과 고펜퍼츠 모형(Gompertz model) 중 가장 적합한 모델을 선택하여 최종 목표연도의 전기자동차 보급대수를 예측하고, 과거 선행연구에서 제시되었던 전기자동차의 전력량 산출모형을 기반으로 하여 향후 전기자동차 보급에 따른 전력수요를 파악하는 데 본 연구의 목적이 있다. 이를 통해 향후 전기자동차 인프라 계획·구축을 위한 기초 연구자료가 될 것으로 기대된다.

2. 연구의 범위 및 절차

1) 내용적 범위

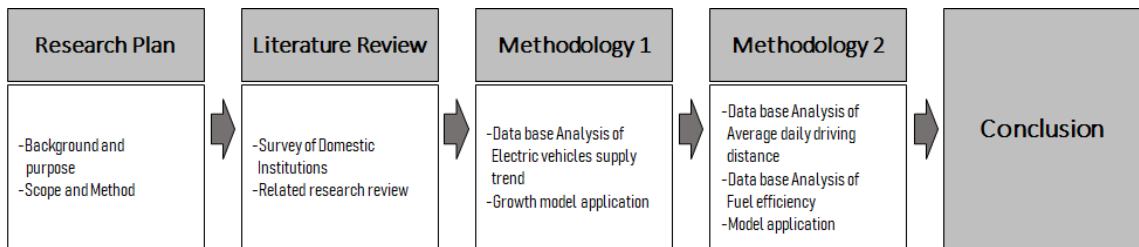
본 연구는 국내 전기자동차 보급 추세를 바탕으로 향후 보급대수와 그에 따른 전력 수요량을 예측하기 위해 수행되었다. 전기자동차는 크게 주입하는 연료에 따라서 배터리 전기자동차와 수소 전기자동차로 나눌 수 있다. 그러나 수소 전기자동차의 경우, 수소를 에너지 동력원으로 전기를 생산하여 움직이는 자동차로 전력 수요를 예측해야하는 본 연구와는 맞지 않아 제외하였다. 따라서 일반적으로 전기 충전소를 통해 전력을 직접 충전하는 배터리 전기자동차를 기준으로 연구를 진행하였다.

연구의 최종 목표연도는 2036년으로 「제10차 전력수급기본계획」(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2023)의 전력수급에 대한 범위를 바탕으로 목표연도를 설정하였다. 연구대상은 수소나 하이브리드 등을 제외한 순수 배터리 전기자동차로 설정하였다. 전기자동차의 누적등록대수의 경우에는 국토교통부에서 발표한

2014년부터 2022년까지 공식자료를 바탕으로 보급추세를 예측하였으며, 1일 평균주행거리는 2021년, 연비는 2022년 기준 자료를 활용하였다.

2) 연구 수행절차

본 연구의 연구 수행절차는 다음과 같다. 먼저, 국내 전기자동차의 전력수요량을 도출하기 위한 전력량 산출모형을 선행연구 검토를 통해 결정하였다. 둘째, 실제 국토교통부에서 발표한 전기자동차 보급대수를 바탕으로 데이터를 수집하여 성장모형으로 분석하였다. 셋째, 전기자동차의 1일 평균주행거리와 연비를 수집하여 선행연구에서 결정한 전력량 산출모형에 적용하였다. 마지막으로 제시된 2030년 전기자동차의 전력수요량을 제8차 전력수급기본계획의 발전량과 비교하여 적절성을 파악하였다.



<Fig. 1> Research Procedure

II. 선행연구 고찰

1. 전기자동차 보급 및 전력량 예측에 관한 연구

세계적으로 친환경 자동차를 보급하려는 움직임에 따라, 국내에서도 전기자동차 보급대수를 예측하기 위한 연구가 진행되었다.

Hwang et al.(2011)은 사례연구를 통하여 2010년부터 2020년까지 전기자동차의 증가대수와 누적등록 대수를 제시하였다. 최근 3년 간 자동차등록대수를 바탕으로 연평균 증가율을 도출하여 전체 자동차등록대수를 예측하였고, 정부발표 자료를 기준으로 매년 전기자동차의 보급비율이 1.0%씩 증가하다고 가정하여 2020년의 전기자동차 보급대수와 소비전력량을 예측하였다.

Oh et al.(2014)는 제주특별자치도를 공간적 범위로 설정하여 전기자동차 보급 시 추가적으로 필요한 전기 에너지의 사용량을 예측하여 제주 내 전력계통에 미치는 영향을 분석하였다. 전기자동차의 보급대수를 측정하기 위해 2006년부터 2012년까지 제주도 내 관용, 자가용 및 영업용으로 구분된 승용차의 등록대수를 단순 회귀분석하여 2022년까지 예측하였고, 제주특별자치시의 보급목표를 대입하여 향후 전기자동차의 보급대수를 제시하였다.

Lee et al.(2020)는 로지스틱 모형, 고펜퍼츠 모형, Bass 확산모형을 사용하여 미래 자동차 시장규모를 전망하였고, 잠재규모 중 가장 적절한 모형을 선택하여 내연기관 자동차에서 전기자동차의 전환비율을 바탕으로 향후 전기자동차 시장에 대해 예측하였다.

Lee et al.(2017)는 중·장기 국내 전기자동차 보급을 예측하기 위해 해외 주요국가의 전기자동차 수요 데이터를 바탕으로 유사추론을 실시하여 Bass 확산모형을 적용한 회귀분석을 통해 시장 포화정도를 예측하였다.

우리나라의 시장 포화정도를 조사하기 위한 기초 데이터로 1980년부터 2015년까지 연도별 국내 자동차 등록대수 데이터를 기반으로 auto regressive integrated moving average(ARIMA) 모델을 이용하여 추정했다.

Byun et al.(2012)은 서울특별시를 포함한 수도권권을 공간적 범위로 설정하고 연도별 자동차 보유대수와 아파트 가구수 자료를 시계열분석하였으며, 공동주택 거주자들을 대상으로 전기자동차 선호도 조사를 실시하여 구매비용을 도출하고 보급대수를 예측하였다. 그 결과, 가구 특성별 최소 0.06대에서 최대 0.39대로 분석되며 수요가 높지 않은 것으로 나타났다.

2. 성장모형 관련 연구

성장모형은 특정 제품에 대한 시장의 총 잠재수요를 추정하는데 유용한 방법으로서, 수요가 급성장하는 시점과 쇠퇴하는 시점을 추정할 수 있는 장점을 지니고 있다. 성장모형을 통하여 특정 수요를 추정한 선행연구를 찾아보았다.

Jung et al.(2019)은 노인요양시설에 대한 수요면적과 입소인원을 추정하기 위해 성장모형을 사용하였다. 장래인구 추계와 OECD 자료 중 노인요양시설 입소율에 관한 자료 등을 참고하여 2067년까지 변화량과 증가추세에 대한 결과를 제시하였다.

Suh and Lee(2015)는 신규 조성된 친수지구에 대한 이용 현황조사를 바탕으로 고펜페르츠 모형을 활용하여 357개 지구에 대한 이용수요를 예측하였다. 이용수요를 통해 지자체의 인구밀도와 대도시까지의 상대적인 거리에 따른 영향을 수계별로 검토한 결과 인구밀도의 영향은 상대적으로 낮았으며, 한강과 낙동강의 경우에는 대도시와의 거리가 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Kim(2020)은 성장모형을 통하여 5G 이동통신산업의 향후수요를 예측하였다. 3G와 4G를 통해 추정된 2020~2025년 5G 이동통신산업 규모를 토대로 2030년 기준 네트워크 장비산업에 대한 결과 값을 바탕으로 누적매출액을 제시하였다.

3. 선행연구와의 차별성

선행연구들의 경우 전체 자동차등록대수를 회귀분석이나 확산모형을 통해 예측하고, 별도의 전기자동차 보급비용을 통해 전기자동차의 보급대수를 전망하였다. 그러나 전기자동차와 같이 기존 산업에서 파생된 산업의 경우 초기 수용정도에 따라 늦게 성장할 수 있기 때문에 단순히 일정수준의 보급비용만 가지고는 설명하는데 한계가 있다. 또한, 전기자동차의 전력량을 측정하기 위해 사용된 데이터의 경우에도 내연기관 자동차의 1일 평균주행거리를 사용하였는데, 두 차량유형 간 최대 주행거리가 크게 차이나기 때문에 전기자동차의 1일 평균주행거리의 경우 내연기관 자동차와 상이할 수 있다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 실제 전기자동차의 등록대수를 바탕으로 로지스틱 모형과 고펜페르츠 모형 중 가장 적합한 모델을 선정하여 향후 전기자동차의 보급대수를 예측하였으며, 1일 평균주행거리 역시 전기자동차가 포함된 기타연료의 1일 평균주행거리 자료를 사용하였다는 점이 선행연구와 차별성이라고 할 수 있다.

Ⅲ. 전기자동차 등록현황 및 보급전망

1. 국내 전기자동차 등록현황

<Table 1>에 따르면 우리나라의 자동차 누적 등록대수는 꾸준히 증가하고 있으며, 특히 2022년 12월 말 기준으로 우리나라에 등록된 전체 자동차 등록대수는 25,503,078대로 전년 대비 2.4%(592천대) 증가하였다. 이 중 전기자동차가 포함되어 있는 친환경 자동차의 경우 전년 대비 37.2%(431천대) 증가하였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023).

전기자동차는 친환경 자동차 중 하이브리드 자동차 다음으로 높은 점유율을 차지하고 있으며, 2022년 12월 말 기준으로 누적 등록대수가 총 389,855대였다. 2,775대에 불과했던 2014년을 기준과 비교하면, 지금은 약 140배 이상 증가하게 되었으며, 앞으로도 전기자동차에 대한 보급추세가 지속적으로 이어질 것이라 예상된다.

<Table 1> Statistics of Electric Vehicles(2014~2022)

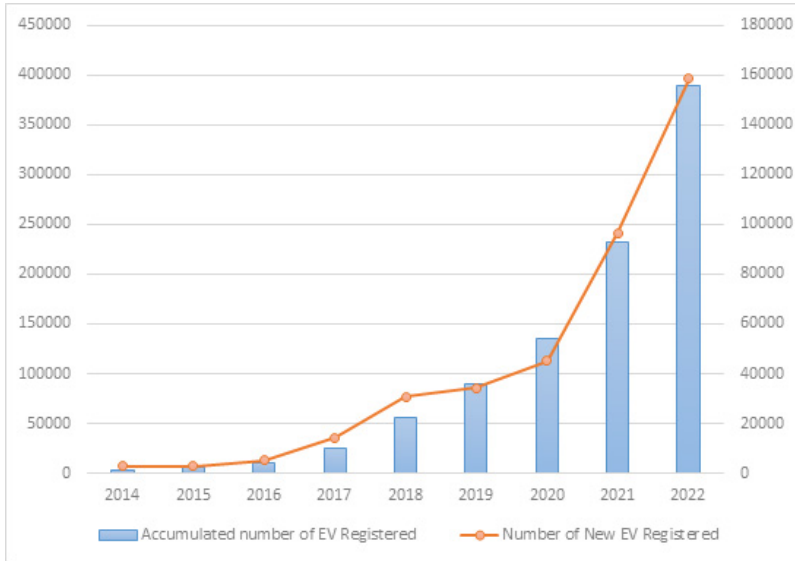
Year	Total number of vehicles registered	Total number of eco-friendly vehicles registered	Total number of electric vehicles registered	Share of electric vehicles among eco-friendly vehicles
2014	20,117,955	140,297	2,775	1.98 %
2015	20,989,885	180,361	5,712	3.17 %
2016	21,803,351	244,158	10,855	4.45 %
2017	22,528,295	339,134	25,108	7.40 %
2018	23,202,555	461,733	55,756	12.08 %
2019	23,677,366	601,048	89,918	14.96 %
2020	24,365,979	820,329	134,962	16.45 %
2021	24,911,101	1,159,087	231,443	19.97 %
2022	25,503,078	1,590,017	389,855	24.52 %



<Fig. 2> Composition Ratio of Vehicles by Fuel

<Fig. 2>에서는 2014년부터 2022년까지 매년 자동차 누적 등록대수에서 각 자동차의 연료별 차지하는 비중을 나타냈다. 전기자동차가 포함된 친환경 자동차의 경우 2014년 전체 자동차 중 0.7%에 불과했지만 지속적인 증가를 통해 6.23%까지 점유율을 확대하였다.

특히 전기자동차의 보급추세는 <Fig. 3>에서 확인할 수 있는데 전기자동차의 누적 등록대수는 2020년 10만대 돌파 이후 2021년 20만대, 2022년에는 30만대를 이상 등록되었다.



<Fig. 3> EV Supply Trend

2. 성장모형 및 예측결과

1) 로지스틱 모형

로지스틱 모형은 비선형적인 성장을 예측하는데 사용하는 수학적 모델 중 하나로 성장의 형태가 초반에는 천천히 증가하다가 점차 급격히 증가하고 어느 시점이 지나면 증가폭이 완만해져 잠재수요량의 상한까지 도달하는 S자형 곡선이다(Choi, 2021). 그러나 초기 값 설정이나 데이터의 미세한 변화에 따라 초기에 지나치게 빠르게 성장할 수도 있고, 나중에는 지나치게 느리게 성장할 수 있는 등의 현상이 발생할 수 있다. 이는 좌우대칭을 이루고 있는 로지스틱 곡선 특성상 예측치가 좌우 대칭의 형태를 유지하고자 하는 경향을 가지고 있기 때문에 비대칭형 자료의 특성이 제대로 반영되지 못한다는 한계를 가지고 있다(Lee, 2002). Eq. 1는 로지스틱 모형식을 보여주고 있다(Oh, 2020).

$$Y_t = \frac{K}{1 + e^{-a+bt}} \dots\dots\dots (1)$$

where,

t = accumulated number of electric vehicles until period t

a, b = degree of diffusion parameter

K = cumulative number of potential supplies

3. 고펜페르츠 모형

고펜페르츠 모형은 시계열 수학모델의 한 종류이며 시작과 종료 시 성장이 가장 느린 것으로 설명되는 S자형 함수로서 영국의 수학자이자 보험계리인이었던 벤자민 고펜페르츠에 의해 제시되었다. 처음에는 인구 증가를 설명하기 위해 고안되었기 때문에 인구통계학적 분석에 많이 사용되었다. 그러나 최근에는 제한된 자원과 환경에 따라 인구가 증가하고 감소하듯, 산업의 성장도 사람처럼 수명이 있고 수명주기에 따른 정규분포를 보일 것이라고 가정하게 되었다(Lee, 2022).

따라서 산업이나 특정제품의 주기도 인구증가 모형과 동일하게 시장이 형성되는 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기를 거치면서 결국 S자 형태의 곡선형태를 띄게 되는 것이며, 급성장 시점과 쇠퇴 시점을 한 눈에 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 앞서 선행연구에서 살펴본 바와 같이 고펜페르츠 모형은 다양한 산업군에서도 수요예측을 위해 사용되고 있다. Eq. 2는 고펜페르츠 모형식을 보여주고 있다(Lee, 2022).

$$Y_t = Ka^{bt} \dots\dots\dots (2)$$

where,

t = accumulated number of electric vehicles until period t

b = degree of diffusion

a = initial market acceptance

K = cumulative number of potential supplies

고펜페르츠 모형에서 전기자동차의 누적등록대수 Y_t 는 누적 잠재보급대수 K 에서 초기시장 수용정도 a 와 확산정도 b 를 고정값으로 두고, 기간 t 를 바꾸면서 목표연도의 전기자동차 보급대수를 구할 수 있다. K 는 향후 전기자동차가 보급될 수 있는 잠재적인 대수를 의미한다. 누적 잠재보급대수 K 와 초기시장 수용정도 a , 확산정도 b 는 2014년부터 2022년까지의 전기자동차 보급현황 자료를 3등분 하여 각 Y_i 값의 로그 합으로 도출할 수 있다.

4. 전기자동차 보급 전망

2014년부터 2022년까지 전기자동차의 보급추세를 바탕으로 각 모형별로 실제 보급된 데이터와 모형에서 산출된 수치를 R-Squared와 평균제곱근오차(root mean squared error, RMSE)로 비교하였다. 로지스틱 모형과 고펜페르츠 모형 중 가장 실제 보급추세를 잘 반영한 모형을 선택하여 2036년까지 전기자동차의 누적등록대수를 추정했다. R-Squared와 RMSE 비교 결과는 <Table 2>와 같다.

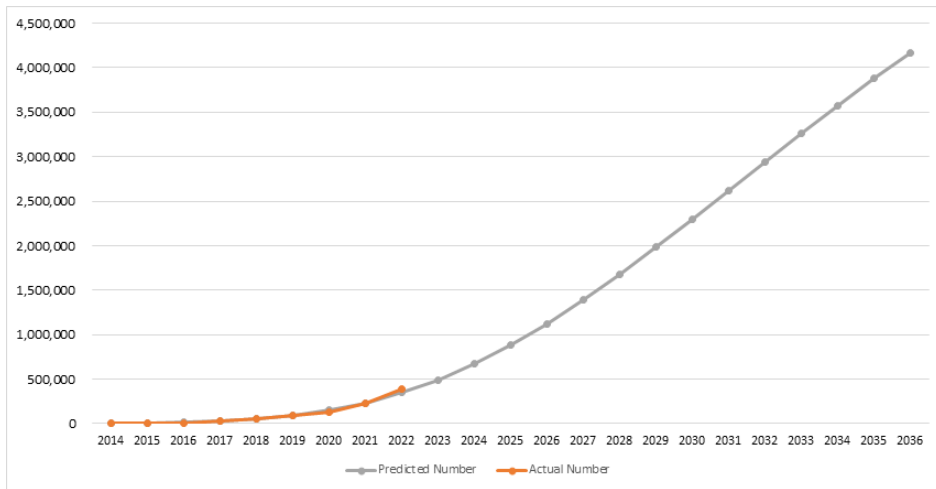
<Table 2> Prediction of the Number of Electric Vehicles in the Future

Model	R	R-Squared	Modified R-Squared	RMSE
Logistic	0.973	0.947	0.940	36,811
Gompertz	0.995	0.990	0.989	15,235

<Table 2>에서 R-Squared는 로지스틱 모형보다 고펜페르츠 모형이 더 전기자동차의 보급대수를 잘 설명한 것으로 나타났다. 또한, RMSE를 살펴보았을 때, 로지스틱 모형보다 고펜페르츠 모형이 평균적으로 오차가 더 낮은 것으로 나타났다 때문에 본 연구에서는 고펜페르츠 모형을 통해 전기자동차의 향후 보급대수를 예측하기로 하였다. 고펜페르츠 모형을 통해 2023년부터 2036년까지 매년 누적되는 전기자동차 대수는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Predicted Number of EV by Gompertz Model

Year	Predicted Number of EV	Year	Predicted Number of EV
2023	491,905	2030	2,300,198
2024	669,721	2031	2,622,792
2025	880,035	2032	2,945,844
2026	1,120,650	2033	3,264,795
2027	1,387,944	2034	3,575,769
2028	1,677,233	2035	3,875,611
2029	1,983,180	2036	4,161,889



<Fig. 4> Comparison of Actual and Predicted Values

<Fig. 4>에서는 실제 2014년부터 2022년의 보급대수 값과 고펜르츠 모형으로 도출한 값을 비교한 그래프로 2022년의 경우에는 전기자동차 보급량의 급격한 증가로 인해 실제 값이 더 많은 것으로 나타났으나, 전반적으로 모형이 보급추세를 잘 반영하고 있는 모습을 보이고 있다. 현재까지 전기자동차의 보급추세를 바탕으로 고펜르츠 모형에서 추정된 잠재 전기자동차의 수요량은 7,203,656대로 나타났으며 「제10차 전력수급기본계획」의 목표연도인 2036년까지 총 4,161,889대가 보급될 것으로 예측되었다.

IV. 전기자동차 보급에 따른 향후 전력수요 예측

1. 전력수요량 예측 개요

앞서 고펜르츠 모형을 통해 도출했던 2036년 전기자동차 보급대수를 바탕으로 전력사용량을 통해 전기자동차에 필요한 총 전력수요를 예측하고자 하였다. 전력수요 예측을 위해서 앞선 선행연구에서 Oh et al.(2014)이 제시한 Eq. 3의 전기에너지 산출모형을 사용하였으며 Eq. 3에서 전기에너지(E)는 다음과 같이 구한다.

$$E = \sum_i \frac{N_i L_i}{a} \times 365 [kWh] \dots\dots\dots (3)$$

where,

a : fuel efficiency [km/kWh]

N_i : number of EV

L_i : distance driven [km]

해당 전기에너지 산출모형은 전기자동차의 차량 수만큼 평균 연비를 곱해준 후 1일 평균주행거리를 나눠 주면 전기자동차가 하루에 쓰는 전기에너지량을 구할 수 있다. 그 후 365를 곱하면 1일 단위를 1년 단위로 나타낼 수 있다.

2. 기초자료 수집

1) 전기자동차 평균연비

전기자동차의 평균연비는 내장된 배터리의 1Wh당 km로 표시되며, 도심주행연비, 고속도로주행 연비, 복합연비로 구성되어 있다. 본 연구에서는 <Table 4>에 따라 전기자동차의 용도별로 연비를 달리 적용하였다.

승용자동차와 화물자동차의 경우 2022년 신규 등록된 전기자동차 모델 중 상위 5개 모델 복합연비의 평균을 적용하였으며(Korea Energy Agency, 2023), 승합자동차와 특수자동차의 경우는 2022년 서울시 전기버스 입찰 시 버스모델의 기준연비의 평균을 사용하였다.

<Table 4> Average Fuel Efficiency as of 2022

Type of Vehicle	Passenger Car	Van	Lorry	Special Car
Average Fuel Efficiency [Km/kWh]	5.5	1.25	3.1	1.25

2) 전기자동차 1일 평균 주행거리

자동차의 1일 주행거리는 한국교통안전공단에서 매년 공식 통계자료를 발표하고 있으며, 연구를 수행하면서 가장 최신자료인 2021년을 기준으로 수치를 살펴보았다. 자동차의 1일 주행거리 통계의 경우 연료별로 통계가 나뉘져 있고 승용자동차, 승합자동차, 화물자동차, 특수자동차 등 자동차의 용도에 따라 구분하여 제공하고 있다(KOSIS, 2023).

그에 따른 용도별 차종별 연료별 자동차주행거리는 <Table 5>와 같다. 본 연구에서는 전기자동차가 포함된 기타연료의 자료 내 사업용과 비사업용 자동차의 평균 주행거리를 모두 합친 전체 값을 바탕으로 전력수요량 예측에 사용하였다.

<Table 5> Vehicle Average Distance Driven per day by Use, Vehicle Type and Fuel as of 2021

Type of Vehicle	Passenger Car	Van	Lorry	Special Car
Distance Driven [km]	43.4	147.2	25.7	5.8

3) 전기자동차 차량구분별 점유율

전기자동차의 용도별로 평균연비와 평균 주행거리가 다르기 때문에 각 전기에너지 사용량을 산출하여 모두 합한 수치가 당해 전기자동차가 사용한 전력산출량으로 판단하였다. 전기자동차의 차량구분별 점유율의 경우 2022년 수치인 <Table 6>에 따라 2036년까지 큰 변화가 없을 것이라 가정하고 2036년까지 증가하는 전기자동차 보급예측대수에 반영하였다.

<Table 6> Share by Vehicle Type as of 2022

Type of Vehicle	Passenger Car	Van	Lorry	Special Car	Total
Number of Vehicle	206,103	5,190	81,236	168	389,855
Ratio (%)	77.79	1.33	20.84	0.04	100

3. 전기자동차 전력 수요 예측결과

전기자동차의 보급대수와 에너지 산출모형에 따라 2036년까지 전기자동차 소비하는 전기에너지의 양은 <Table 7>과 같다. 2036년 총 14,707.5gWh의 전기가 전기자동차의 운영을 위해 필요한 것으로 예측되었다.

<Table 7> Annual Energy Consumption of EV

Year / Type	Passenger Car (gWh)	Van (gWh)	Lorry (gWh)	Special Car (gWh)	Total (gWh)
2023	1,153.0	274.8	309.6	0.8	1,738.2
2024	1,569.8	374.2	421.5	1.1	2,366.6
2025	2,062.8	491.7	553.9	1.4	3,109.8
2026	2,626.8	626.1	705.3	1.9	3,960.1
2027	3,253.4	775.5	873.5	2.3	4,904.7
2028	3,931.5	937.1	1,055.6	2.8	5,927.0
2029	4,648.6	1,108.1	1,248.2	3.3	7,008.2
2030	5,391.7	1,285.2	1,447.7	3.8	8,128.4
2031	6,147.9	1465.5	1650.7	4.4	9,268.5
2032	6,905.1	1646.0	1854.1	4.9	10,410.1
2033	7,652.8	1824.2	2054.8	5.5	11,537.3
2034	8,381.7	1998.0	2250.5	6.0	12,636.2
2035	9,084.6	2165.5	2439.3	6.5	13,695.9
2036	9,755.6	2325.5	2619.4	7.0	14,707.5

「제10차 전력수급기본계획」(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2023)에 따르면 2036년 우리나라 발전량 전망수치는 667.3tWh로 현재 발전량 576.8tWh보다 약 15.7% 정도 많아진다. 송배전으로 인한 전력 손실 비율이 3.5%인 것을 감안하면 실제 우리가 사용할 수 있는 전력량은 643.9tWh이다. 2036년 전기자동차 운영으로 소모되는 전기에너지가 14,707.5gWh가 차지하는 비중은 2.2%로 추정할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

과거 전기자동차는 내연기관 자동차보다 긴 충전시간에 비해 짧은 주행거리, 대규모 유전개발에 따른 연료원가 절감으로 역사의 뒤안길로 사라지는 듯 하였다. 그러나 지구온난화로 인해 이상기온현상과 대규모 자연재해 등 기후변화로 인해 지속가능한 발전과 친환경에 대한 관심이 높아지면 내연기관 자동차보다 전기자동차를 보급하려는 움직임이 일어나고 있다. 우리나라뿐만 아니라 해외 여러 국가들은 적극적으로 전기자동차가 보급되어 배기가스로 인한 탄소배출을 줄일 수 있도록 노력하고 있으며, 이에 따라 전기자동차의 보급은 향후에도 지속될 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 향후 전기자동차의 보급 증가에 따른 전기에너지 사용량을 도출하여, 향후 우리나라의 예상 발전량의 어느 정도 수준을 차지하는지 비교해보았다. 전기자동차의 향후 보급대수를 예측하기 위해 성장모형 중 가장 적합했던 고펜레츠 모형을 통해 총 4,161,889대의 전기자동차가 2036년까지 보급될 것으로 나타났으며, 이 수치는 2022년에 보급된 389,855대와 비교했을 때 10배 이상 증가한 수치이다. 전기에너지의 경우 2036년에는 연간 14tWh를 소비할 것으로 나타났으며, 이를 「제10차 전력수급기본계획」(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2023)에서 전망한 발전량 수치 667.3tWh와 비교해보았다. 실제로 송배전을 통해 손실되는 전력량이 연간 3.5% 내외라고 할 때, 실제 발전량에서 우리에게 공급되는 전력량은 643.9tWh로 추정할 수 있다. 이는 전기자동차가 400만대 넘게 보급이 되더라도 전력량의 2.2% 수준이며, 충분히 수요를 감당할 수 있는 용량으로 보인다.

전기자동차의 보급대수와 그에 따른 전력량 예측은 향후 관련 정책과 제도를 수립할 때 도움을 줄 수 있다. 전력수급의 경우 원자력발전 정책, 재생에너지 보급속도 등의 요소에 따라 변동 가능성이 높기 때문에 전기자동차의 보급 동향이 전력수급 계통에 미치는 영향에 대해 지속적으로 관심을 가질 필요가 있다. 또한 교통·ITS 측면에서 전기자동차가 향후 10배 이상 늘어날 것으로 전망되었기 때문에 전기자동차로 도로를 이용하는 사용자들에게 기존 도로와 ITS 설비를 개량하여 주행 중 전기자동차에 에너지를 공급할 수 있는 시스템 등 전기자동차 친화적인 도로환경을 마련할 수 있는 제도와 정책수립을 검토할 필요가 있다.

2. 연구의 한계점 및 향후 연구과제

본 연구의 한계점은 모형구축에 활용된 연도별 전기자동차 보급대수의 통계치가 다소 짧다는 점이다. 로지스틱과 고펜레츠 모형을 사용할 경우 자료 수집기간이 짧을수록 장래 예측치가 과대 또는 과소하게 추정될 수 있기 때문이다. 또한, 초기 전기자동차의 경우 일반 승용차 중심으로 보급이 이뤄졌으나, 근래에는 전기화물차도 많이 보급되고 있다는 점에서 향후 전기자동차가 보급될수록 화물차의 비중이 늘어날 가능성을 확인할 수 있었다. 그리고 보급데이터와 전기자동차 구매요인을 함께 고려할 필요가 있었으나, 정부보조금, 전기요금 등 장래 정책의 불확실성이 높아 독립변수로 활용하는데 한계가 있었다. 또한, Lee et al.(2023)의 연구에 따르면 고속도로 구간의 에너지효율은 주행경로에 따라 11.7~37.3% 낮았고, 도심주행은 27.4~27.5% 더 높게 나타났다는 점에서 본 연구에서 사용한 복합연비를 통해 추정된 전력수요가 과소추정 되었을 가능성을 내포하고 있다.

본 연구는 2014년부터 2022년까지 전기자동차 보급데이터를 기반으로 하고 있다. 향후 연구에서는 전기자동차에 대한 보급데이터의 지속적인 수집과 함께 전기자동차 보급 요인과 차종별 비중 값에 대한 보정을 고

려하여 보다 더 정확히 전기자동차에 대한 보급대수를 예측할 수 있으리라 기대하며, 전기자동차의 에너지 소비량 또한 교통상황과 주행경로에 따라 차이가 발생할 수 있기 때문에 추가적인 실도로 주행시험을 통해 데이터를 확보하여 전기자동차의 소비전력량 예측에 반영할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 한국ITS학회 2023년 춘계학술대회에서 발표한 내용을 수정·보완하여 발표하였습니다.

REFERENCES

- Byun, W. H., Lee, K. H., Lee, S. H. and Kee, H. Y.(2012), “Demand Forecasts Analysis of Electric Vehicles for Apartment in 2020”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 3, pp.81-91.
- Choi, G. W.(2021), *Estimation of Panel Retention Rate Function Using Growth Curve Model in Panel Surveys*, University of Seoul, p.5.
- Eisenmann, C., Gorges, D. and Franke, T.(2021), “Electric Vehicles”, In *International Encyclopedia of Transportation*, Elsevier, pp.147-154.
- EU(2022), *Euro 7 Standards: New rules for vehicle emissions fact sheets*.
- Guarnieri, M.(2012), “Looking back to electric cars”, *Third IEEE History of Electro-technology Conference(Histelcon)*, Pavia.
- Hwang, M. Y., Yoon, J. M. and Cha, J. M.(2011), “A Study for Forecasting of Power Consumption due to Increase of Electric Vehicle”, *Proceeding of the 42th the KIEE Summer Conference 2011*, pp.23-24.
- Jeong, Y. N., Shin, C. K. and Yoo, S. J.(2019), “A Study on Estimation of the Demand for Long-term Care Facilities through the Growth Model of Gompertz”, *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, vol. 21, no. 3, pp.125-139.
- Kim, T. M.(2020), *The Economic Impact of 5G Telecommunications Industry on the Basis of the Gompertz Growth Model and Input-Output Analysis*, Hanyang University, pp.4-80.
- Korea Energy Agency, https://bpms.kemco.or.kr:444/transport_2012/main/main.aspx, 2023.02.16.
- Korean Statistical Information Service(KOSIS), https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=426&tblId=DT_42601_N003&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=M2_20&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE, 2023.02.22.
- Lee, C. G.(2002), *Comparison Study about the Validity of Demand Forecasting Techniques using Growth Curve Models*, Sogang University, pp.56-59.
- Lee, G. Y., Jeong, J. W., Lee, K. H., Yoon, S. H. and Park, S. H.(2023), “Study in Range and Energy Consumption Efficiency of Electric Passenger Vehicle under Real-Road Driving Conditions”, *Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 31, no. 5, pp.361-369.
- Lee, K. S.(2022), *A study on the Application of the Gompertz Model for Industry Life Cycle Analysis*

- and the Characteristics of Input Resources in the Korean Manufacturing Industry*, Hanyang University Graduate School of Technology Management, pp.35-45.
- Lee, S. G. and Park, B. J.(2019), “Study for Zero Emission Vehicle Technology: Current Status and Recent Trends”, *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, vol. 5, no. 1, pp.377-381.
- Lee, S. J., Son, S. E. and Park, M. H.(2017), “A Study on the Prediction and Effect Analysis of EV Motorization in the Republic of Korea”, *Innovation Studies*, vol. 12. no. 3, pp.117-133.
- Lee, Y. J., Kim, J. K. and Won, D. H.(2020), “Prospect of Dissemination of Electric Vehicle(xEV) using Diffusion Models”, *The Journal of Northeast Asian Economic Studies*, vol. 32, no. 2, pp.189-220.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2023), <https://stat.molit.go.kr/portal/cate/statFileView.do?hRsId=58>, 2023.01.31.
- Ministry of Trade, Industry and Energy(2021), *The 4th Master plan for Eco-Vehicles*, pp.1-62.
- Ministry of Trade, Industry and Energy(2023), *The 10th Basic Plan for Electricity Supply and Demand*.
- Oh, S. B., Lee, G. M. and Hwang, C. G.(2014), “The Effects of Penetration of the Electric Vehicles on the Electric Power Grid in the Jeju Island”, *The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 63, no. 1, pp.10-17.
- Oh, S. Y.(2020), “Forecasting methodology of future demand market”, *Journal of Digital Convergence*, vol. 18, no. 2, pp.205-211.
- Suh, M. K. and Lee, D. S.(2015), “Forecasting for the Demand on Water Amenity Zones in the Large Rivers Based on Regional Characteristics and Monthly Variation”, *Journal of Wetlands Research*, vol. 17, no. 4, pp.436-446.
- Yonhapnewstv, <https://www.yonhapnewstv.co.kr/news/MYH20200925003000038?did=1825m>, 2023.04.07.